



# CHALMERS

---



## Samverkanslement av trä

Hållfasthetsegenskaper för en konstruktionslimmad trävägg med stabiliserande spånskiva

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

Fredrik Ivarsson  
Joel Sjöholm

---

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Examensarbete BOMX03-16-19  
Göteborg, Sverige 2016



EXAMENSARBETE BOMX03-16-19

## Samverkanslement av trä

Hållfasthetsegenskaper för en konstruktionslimmad trävägg med stabiliserande  
spånskiva

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

Fredrik Ivarsson

Joel Sjöholm

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2016

Samverkanslement av trä  
Hållfasthetsegenskaperna för en konstruktionslimmad trävägg med stabiliserande  
spånskiva

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

Fredrik Ivarsson

Joel Sjöholm

© FREDRIK IVARSSON & JOEL SJÖHOLM, 2016

Examensarbete BOMX03-16-19 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,  
Chalmers tekniska högskola 2016

Institutionen för bygg och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Försökselement Serie C.

Tryckeriets namn/Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2016

Samverkanslement av trä

Hållfasthetsegenskaper för en konstruktionslimmad trävägg med stabiliserande spånskiva

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

Joel Sjöholm

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

I detta examensarbete har prefabricerade samverkanslement bestående av spånskivor och träreglar studerats. Dessa element används som bärande väggelement i flervåningshus. Studien omfattar både beräkningar och experimentella försök. Ett förslag till en beräkningsprocedur för prefabricerade träelement i full samverkan vid enbart axiell tryckbelastning i vertikal-led föreslås. Beräkningsgången jämfördes och verifierades med försöksresultat. Skillnader mellan element med enbart limförband jämfördes med element med såväl spik- och liminförband. Beräkningar och försök syftar endast till att ge information kring elementets egenskaper vid momentan belastning till brott och således tas ingen hänsyn till bruksgränstillstånd och långtidseffekter. Försökselementet består av en 38mm spånskiva med vertikalt limmade 45x95-reglar på ett centrumavstånd av 600 mm. Reglarna limmas med bredsida på ömse sidor av skivan och spikas för att erhålla ett fullgott limtryck.

Tre olika varianter av väggelement med varierande höjd och bredd undersöktes. Syftet var att ge information kring elementets egenskaper med och utan risk för knäckning, den sammansatta elasticitetsmodulen för elementet samt elementets förmåga att fördela last via spånskivan. Testet var begränsat till ett litet antal element vilket medförde att resultatet från försöket endast är en indikation på hur väl beräkningarna speglar verkligheten. Beräkningarna baseras på Eurocode 5, Structure timber design och en litteraturstudie av elementets material.

Resultatet från försöken påvisar att limmet skapade full samverkan i elementet men att det dock var känsligt för hur noggrant det applicerats. Tydlig reduktion av brottslast uppmärksammades vid delvis misslyckad limning. Limspikad infästning påvisade ingen ökad samverkan mellan materialen jämfört med enbart limmad infästning. Elementets egenskaper var i försöket generellt goda med viss överkapacitet av tryckhållfastheten jämfört med beräkningar. Spånskivan uppvisade god förmåga att fördela last inom elementet. Skivan styvade även upp reglarna som annars var känsliga för knäckning. Beräkningarna som är föreslagna i detta arbete tar ej hänsyn till aspekter så som långtidseffekter, fuktpåverkan, brand eller olika materialkombinationer. Fortsatta studier kring beräkningsmodellen krävs för att verifiera hur pass lämplig den är att tillämpa.

Wooden elements with composite sections

Strength properties for a stud wall with a stabilizing particle board attached with adhesives.

*Diploma Thesis in the Engineering Programme*

*Building and Civil Engineering*

FREDRIK IVARSSON & JOEL SJÖHOLM

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Structural Engineering

Research Group Name

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

In this thesis prefabricated wooden elements with composite sections made of particleboards and wood studs have been studied. These elements are used as load-bearing wall elements in multi-storey buildings. The study includes both calculations and experimental trials. A proposal for a calculation procedure for prefabricated fully composite wood elements at axial compressive load in the vertical direction is suggested. The results from calculation procedure are compared and verified against the results from the experimental tests. Differences between the elements with only glued joints are compared with elements with both nailed and glued joints. The calculations and the experiments only intended to provide information about the element's properties at instantaneous load to failure and therefore not considered for serviceability limit state and the long-term effects. The test elements consists of a 38mm particleboard with vertically glued 45x95 mm studs on a centre distance of 600 mm. The studs are glued broadside on both sides of the board and is nailed to obtain adequate adhesive pressure.

Three different types of wall elements with varying height and width as well as glued or glue-nailed attachment were tested. The three elements are intended to provide information about the element's properties with and without the risk of buckling, the composite modulus of elasticities of each element, and the element's ability to distribute load through the particleboard. The test were limited to a small number of elements. The measured load capacity of the elements only indicates how well the calculations reflect reality. The calculations are based on Eurocode 5, Structural Timber design and a literature of the element material.

The results of the experiments indicate that the glue created full interaction in the element, but that it was sensitive to how accurately it was applied. Clear reduction of the failure load were noticed at failed gluing. Glue and nailed elements demonstrated no increased interaction between the materials. The element properties were in the study generally good with some overcapacity in the compressive strength compared with calculations. The particleboard showed good ability to distribute the load in the element, the board also stiffened the studs that otherwise were susceptible to buckling. The calculation model proposed in this work does not take into account aspects such as long-term effects, moisture impact, fire or various combinations of materials. Further studies on the calculation model is required to verify how appropriate it is to use in practice.

# Innehåll

SAMMANFATTNING	V
<i>DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME</i>	VI
ABSTRACT	VI
INNEHÅLL	VII
BETECKNINGAR	X
1 INTRODUCTION	1
1.1 Inledning	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod	2
2 BAKGRUND	3
2.1 Flervåningshus i trä	3
2.2 Prefab som byggmaterial	3
2.2.1 Historia	3
2.2.2 Allmänt	3
2.3 A-hus AB	3
2.4 A-hus väggelement	4
3 MATERIAL OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR TRÄBASERADE ELEMENT	6
3.1 Material	6
3.1.1 Träreglar	6
3.1.2 Spånskivor	6
3.1.3 Träläm	8
3.2 Förutsättningar	9
3.2.1 Fukt i träbaserade konstruktionsmaterial	9
3.2.2 Klimatklass	11
3.2.3 Lastvaraktighet	11
4 NORMER OCH DIMENSIONERINGSREGLER	12
4.1 Eurocode 5	12
4.2 Structural timber design to Eurocode 5	12
4.3 Sammanställning av litteratur	12
4.3.1 Elasticitetsmodul	13
4.3.2 Styvhet och slankhetstal	13
4.3.3 Deformationer	15
4.4 Beräkningsmodell	15
<b>CHALMERS</b> , <i>Bygg- och miljöteknik</i> , Examensarbete BOMX03-16-19	VII

4.5	Alternativa beräkningsmetoder	16
5	LABBFÖRSÖK	17
5.1	Testelement	17
5.1.1	Serie A	17
5.1.2	Serie B	18
5.1.3	Serie C	18
5.2	Försöksmetod	19
5.2.1	Uppställning	19
5.2.2	Provkroppsfordelning	22
5.2.3	Förarbete inför försök	22
5.3	Förväntade testvärden	22
6	RESULTAT	23
6.1	Serie A	23
6.2	Serie B	25
6.3	Serie C	27
7	ANALYS	29
7.1	Serie A	29
7.2	Serie B	31
7.3	Serie C	33
7.4	Väggelementet generellt	34
7.5	Felkällor	36
8	SLUTSATS	37
8.1	Vidare studier	37
	REFERENSER	38
	BILAGA A, RITNINGAR AV A-HUS AB	40
	BILAGA B, DEROMES DIREKTIV	42
	BILAGA C, BERÄKNINGAR	43
	BILAGA D, FUKTKVOT AV SERIE A	55
	BILAGA E, KRAFT-DEFORMATIONSGRAFER AV ALLA FÖRSÖK	56



# Förord

Som avslutande arbete i utbildningen på Byggingenjörers-programmet vid Chalmers tekniska högskola ingår detta examensarbete. Arbetet har utförts våren 2016 vid bygg- och miljöteknik under avdelningen för konstruktionsteknik. Medverkande företag är Ahus AB som bidragit med väggelement och handledare Anders Carlsson och Tobias Persson. Våra handledare professor Robert Kliger och lektor Steve Svensson på avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers har via sin handledning hjälpt oss genom arbetet.

Vi vill passa på att tacka våra handledare och framförallt Robert Kliger för goda råd samt välriktad kritik under arbetets gång. Vi vill även tacka Chalmers och då främst Sebastian Almfeldt som gjorde våra försök möjliga.

Göteborg, juni 2016

Fredrik Ivarsson

Joel Sjöholm

## Beteckningar

A	[ $m^2$ ]	Area
E	[ $GPa$ ]	Elasticitetsmodul
$F_{c,d}$	[ $N$ ]	Dimensionerande tryckkraft parallellt fibreriktning
$I_i$	[ $m^4$ ]	Tröghetsmoment
$K_i$	[ $N/m$ ]	Förskjutningsmodul
N	[ $N$ ]	Axiellast
a	[ $m$ ]	Avstånd till tyngdpunkt
$f_{0,k}$	[ $MPa$ ]	Karaktäristisk tryckhållfasthet parallellt fibreriktning
$f_{c,0,d,i}$	[ $MPa$ ]	Dimensionerande tryckhållfasthet parallellt fibreriktning
$f_{medel}$	[ $MPa$ ]	Medelvärde hållfasthet
$k_{c,z,i}$	-	Instabilitetsfaktor
$k_{z,i}$	-	Instabilitetsfaktor
$l$	[ $m$ ]	Längd
$s_i$	[ $m$ ]	Avstånd mellan förbindare
$\gamma_i$	-	Samverkans effektivitetsfaktor
$\varepsilon$	-	Töjning
$\lambda$	-	Slankhetstal
$\lambda_{rel}$	-	Relativt slankhetstal
$\sigma$	[ $MPa$ ]	Spänning
$\sigma_{c,0,d,i}$	[ $MPa$ ]	Dimensionerande spänning parallellt fibreriktning



# 1 Introduktion

## 1.1 Inledning

För att minimera arbetstiden och öka kvalitén på byggnader övergår många företag till att bygga prefabricerade byggnader istället för traditionellt lösvirke. Minimering av väderberoende och således en reducering av inbyggd fukt samt en minskad produktionstid är några av fördelarna med prefabricerade element. Ofta levereras byggnaden i passande element som ska vara fördelaktiga att sammanfoga på arbetsplatsen.

Betong är det material man främst förknippar med prefabricerade element, medan element av trä är en relativt okänd teknik. Då hållfastheten för trä varierar stort i förhållande till dess fiberriktning sammanfogas elementen av regler med fiberriktning i den riktning kraften leds, ofta i vertikalled. För att ge stadga åt elementet samt uppta krafter i horisontalled kan man använda någon form av konstruktionsskiva som samverkar med reglarna och skapar skivverkan i strukturen. Detta medför att man skapat ett samverkande element med en hållfasthet som beror på de ingående elementens egenskaper samt typ av infästning.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är dels att utvärdera resultat från experimentella försök samt att verifiera dessa resultat med beräkningar för sammansatta träelement bestående av konstruktionsskivor och träreglar i full samverkan. Konstruktionen för dessa träelement kommer från befintlig produkt. Resultatet av beräkningar jämförs för verifiering med försöksresultat från labbförsök.

Målen med arbetet är:

- Beräkna bärförmågan i vertikalled för väggen samt verifiera beräkningarna vid försök.
- Undersöka kraven för limfogens hållfasthet.
- Undersöka hållfastheten vid misslyckad limning.
- Undersöka skillnader i bärförmåga för spikad respektive limmad infästning.

## 1.3 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsningar är:

- Examensarbetet avgränsas till det element och material som A-hus AB använder i sin konstruktion.
- Examensarbetet avgränsas till den bärande delen av elementet och således ej de externa skalväggarna.
- Vissa förenklingar av elementet har gjorts för att fungera praktiskt ihop med utrustningen under försöket.
- Då försöket syftar till att undersöka brottslast för de olika elementen tas ej bruksgränstillstånd i beaktning vid beräkningar.
- Rapporten tar ej hänsyn till faktorer så som brandegenskaper, varierande fuktförhållanden och horisontell belastning.

## 1.4 Metod

En litteraturstudie inom ämnet har gjorts där relevant teori undersöktes och jämfördes för att senare kunna dra slutsatser i det enskilda arbetet.

Beräkningsmodellen togs fram enligt Eurocode 5 där värdena för tryckkraftskapacitet och kompression beräknades. Lämpliga testelement framarbetades och ritningar för produktion av dessa skapades för att sedan produceras hos A-hus AB. Testelementen är tänkta att spegla befintlig produkt samt bidra med trovärdiga mätvärden. Provkropparna levererades till labbet för konstruktionsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola, i provhallen testades provningskropparna där data för vertikal belastning, kompression och utböjning fastställdes. Data analyserades samt jämfördes mot beräkningarna för verifiering av beräkningsmodellen.

## **2 Bakgrund**

### **2.1 Flervåningshus i trä**

Sedan det svenska medlemskapet i EU 1994 finns det inga regler som begränsar bygghöjden på grund av stommens material. De europeiska byggreglerna är funktionsbaserade, vilket innebär att byggnaden måste uppfylla vissa funktioner och utifrån dessa krav kan material och konstruktioner väljas fritt. Ett funktionskrav är till exempel att lägenhetsskiljande väggar uppfyller EI 60 (brandmotstånd i en timme). I tidigare byggregler begränsades antalet våningar i bostadshus med bärande trästomme till högst 2, detta på grund av ödeläggande bränder i stadsmiljö (Ottosson, 2013). Efter regeländringen byggs flervåningshus över 2 våningar i trä i Sverige där Växjö är ledande inom området. Världens högsta trähus byggs i Bergen, Norge och är 51m högt med 14 våningsplan (Steen, 2014).

### **2.2 Prefab som byggmaterial**

#### **2.2.1 Historia**

Prefabricerade byggnader har funnits sedan tidigt 1600-tal då bostäder för fiskare skeppades över från England till Cape Ann i Amerika. Det var efter Henry Fords framgångsrika massproduktion av högkvalitativa produkter i början på 1900-talet som priserna sänktes på marknaden och intresse skapades för ”rullandeband-principen” i byggbranschen. 1906 lanserades de första prefabricerade huset med alla ingående element, numrerade för att enkelt kunna monteras. Efter första och andra världskriget var bristen av bostäder omfattande. Behovet av att bygga enkelt, billigt och snabbt var därför stort och prefabricerade hus fick ett uppsving på marknaden (Arieff & Burkhart, 2003, s.9-17). 2015 byggdes 85,4 % av alla Sveriges småhus i trä av prefabricerade element (Byggfakta, 2015).

#### **2.2.2 Allmänt**

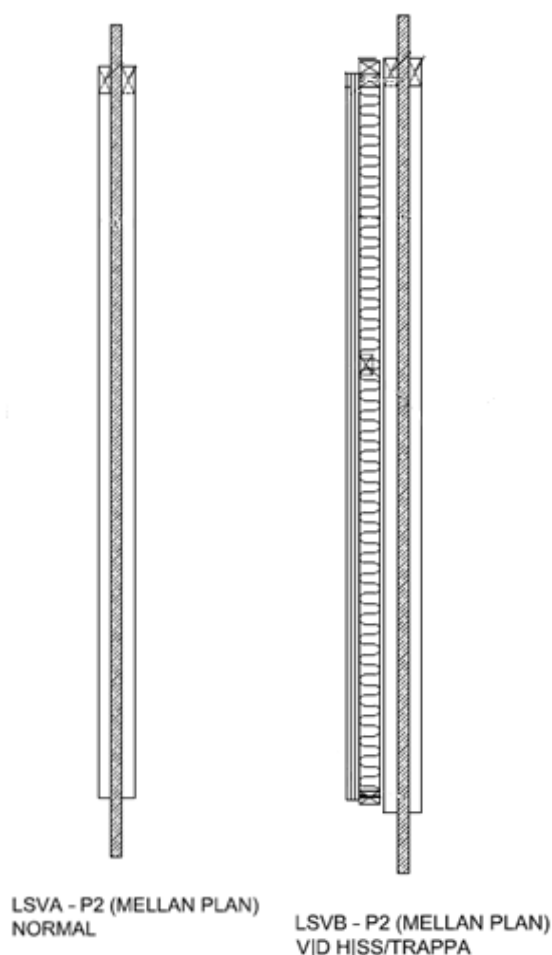
Prefabricerade bostäder finns i olika material så som trä, betong och stål, idag associeras framför allt betong som ett prefab-material (Arieff & Burkhart, 2003, s.9-17). Prefabricerade element kan produceras under kontrollerade former och klimat-exponeras endast under transport och montering, den ökade effektiviteten minskar produktionstiden och kostnader (A-hus, 2016). Dock kan sammanlänkning av prefabricerade elementen vara mer problematiskt, detaljer, skarvar o.d. kan vara svårt att täta/sammanfoga vilket kan skapa fukt och köldbryggor.

### **2.3 A-hus AB**

A-hus AB är ett företag verksam inom prefabricering av villor, flerfamiljshus och fritidshus av trä med tillverkning i Halland. A-hus startade sin produktion 1947 och är sedan 1981 en medlem av Deromegruppen vilka är verksam i hela träförädlingskedjan från skog till färdiga hus och träprodukter. A-hus tillverkar cirka 600 hem per år (A-hus, 2016).

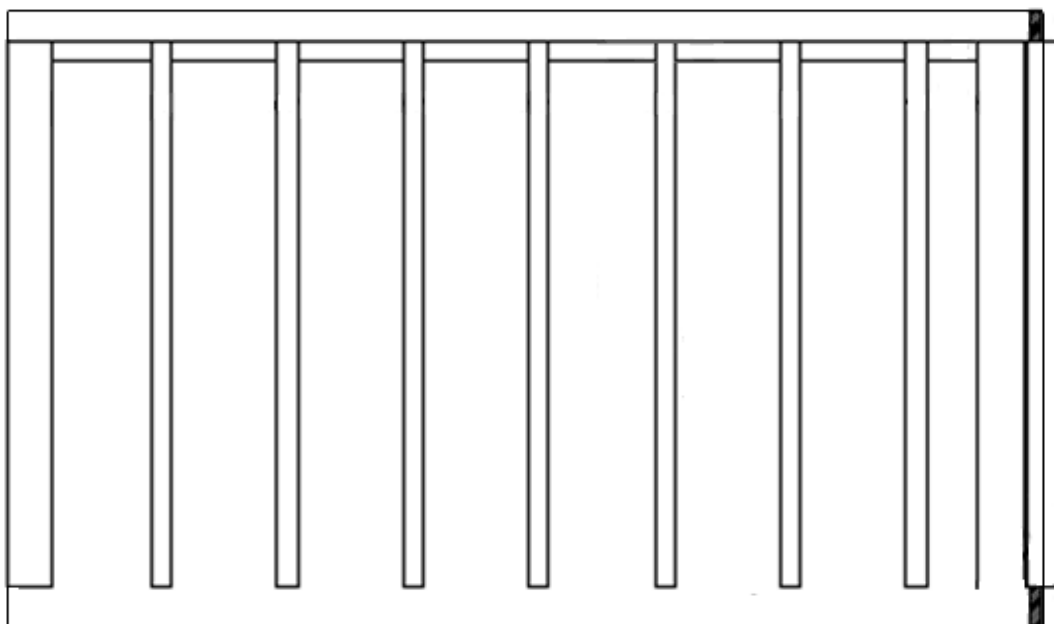
## 2.4 A-hus väggelement

Väggelementet används i flerbostadshus med upp till 6 våningsplan som lägenhetsavskiljande vägg samt vägg mot hiss/trapphus och är bärande. Väggelementet kläs med skalväggar för att uppfylla bland annat funktionskrav, enligt Figur 2.1. Det bärande elementet består av en spånskiva av kvalitet P6 med tjockleken 38mm varpå man med konstruktionslim fäster regler av klass C24 (45x95mm) med ett centrumavstånd på 600mm. Reglarnas breddsida fästs vertikalt på ömse sidor om skivan då kraften främst leds i den riktningen. Elementet har när det används i byggnader en höjd på 2950mm och en längd på 4937mm. Regeln och skivan monteras ihop med hjälp av två rader Ringspik/Kampspik (2,8-75) cc 200 för att uppnå fullgott limtryck då limmet härddas. Limmet är av typ Akzo Nobels trälim 1247 med härdare 2526 som blandas 1:1 och limmas enligt Deromes ritningar och föreskrifter (A-hus, 2013). Mer detaljerade ritningar med A-hus väggelement finns i Bilaga A, samt föreskrifter Bilaga B.



Figur 2.1. Bärande väggelement samt bärande väggelement med påhängd skalvägg, profil (Derome, 2014-01-14).

Figur 2.1 visar från vänster väggens bärande del, elementet som prövas i detta arbete. Figur 2.1 till höger visar vägg med bärande del samt skalvägg som hängs på, skalväggen består av bland annat 3st gipsskivor som brandskydd och isolering för ljuddämpning.



LSV B202-502 STOMME 2



*Figur 2.2. Vägg sett från sidan och tvärsnitt (Derome, 2015-01-12)*

Figur 2.2 visar en komplett 5m vägg och beskriver skarvar i spånskiva, skarvningen för den 1,2m långa spånskivan sker mellan reglarna.

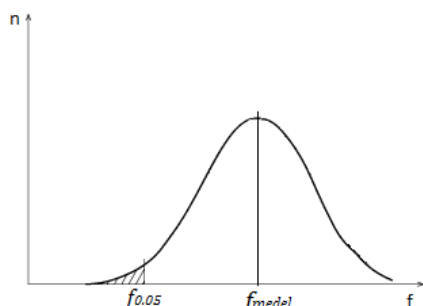


## 3 Material och förutsättningar för träbaserade element

### 3.1 Material

#### 3.1.1 Träreglar

Konstruktionsvirke är uppdelat i 12 hållhetsklasser för barrvirke (C14-50). C betecknar att materialet är konstruktionsvirke avsett för bärande konstruktioner (eng. Construction) och numret det karakteristiska hållfasthetsvärdet i böjning parallellt med fibrerna. Det verkliga hållfasthetsvärdet jämfört mot det karakteristiska hållfasthetsvärdet kan skilja stort. Detta på grund av inhomogeniteter såsom kvistar som ändrar fibrernas riktning, så kallad snedfibrihet. Snedfibriheten ändrar belastningsriktningen på fibrerna vilket kan minska virkets hållfasthet då fibrerna har olika styrka i olika riktningar. Konstruktionsvirke har därför en stor spridning av hållfasthetsvärde i samma klass, jämfört med betong och stål. Hållfasthetsvärden för trä har tagits fram empiriskt, i Figur 3.1 visas en principiell hållfasthetsfördelning där medelvärde ( $f_{0,50}$ ) och karakteristiskt värde ( $f_{0,05}$ ) är markerat. Det karakteristiska värdet är för alla material definierat som den under 5 %-fraktilen i hållfasthetsfördelningen, det vill säga 95 % av alla prover kommer att överskrida detta värde (Al-Emrani, Engström, 2013). Styvheten hos trä varierar likt hållfastheten stort, även inom ett träslag kan elasticitetsmodulen variera  $\pm 35\%$  på grund av snedfibrihet, kvistar och fiberriktning (Svenskt trä, 2016).



Figur 3.1. Knäckningsfördelning (Al-Emrani, & Engström, 2013).

#### 3.1.2 Spånskivor

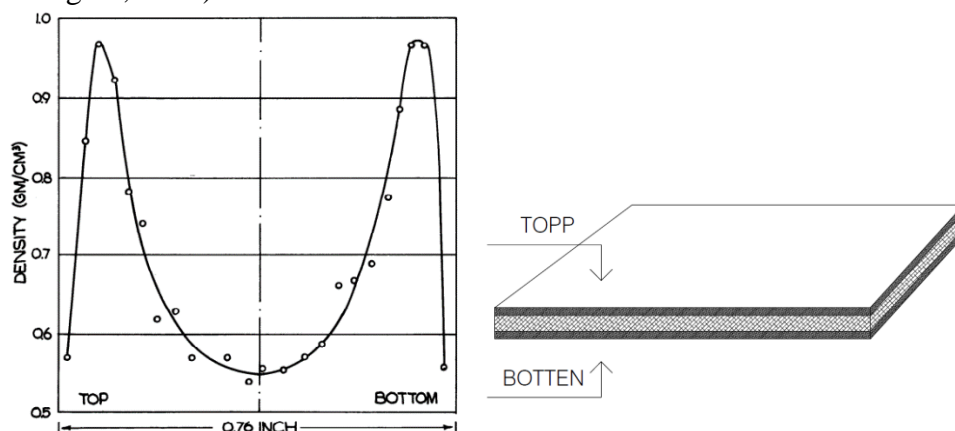
William H. Mason var den förste att tillverka och ta patent på tillverkningen av hårda skivor, hans mest kända produkt är Masoniten som lanserades 1926. De första svenska träfiberskivorna tillverkades 1929 av Nordmalings Ångsåg som sedermera blev en filial till Masonite AB. Priset på virke steg kraftigt under början på 1950-talet vilket ledde till ett ökat intresse för skivmaterial i Sverige, detta resulterade i att gips och spånskivan lanserades på den svenska marknaden (Lundgren, 1967).

Spånskivor tillverkas då en blandning av spån och lim pressas under högt tryck och hög temperatur. Efter pressningen härddas skivan i het luft under en längre tid. Beroende på skivtjocklek och klass varierar presstid och värmebehandlingstid från 3 till 50 minuter respektive 2 till 7 timmar. Spånskivor tillverkas i olika klasser, P1-P7 där P betecknar materialet spånskiva (eng. Particleboard) och siffran materialets egenskaper. P1-P3 används mest till möbeltillverkning och bänkskivor, P4-P7 används inom byggbranschen för att styva upp bland annat väggar och golv. P4 och P5 har samma karakteristiska hållfasthetsvärde där P5 är impregnerad och klarar högre klimatklass. P6 och P7 har högre karakteristiska hållfasthetsvärde där även P7 är impregnerad (Porteous och Kermani, 2013, s.37).

Hållfastheten för spånskivor beror till stor del av tryck, temperatur, tid och fukt under tillverkningskedet. Trycket man skapar under pressningen ger en inhomogen densitet, skivan har högre densitet vid ytan än i centrum, se Figur 3.2. Därmed har en tjockare skiva större densitetsskillnaden än en tunn. Densitetsskillnaden skapar en skillnad i materialets styvhet, högre vid ytan och lägre i centrum. Detta medför att hållfastheten i skivan minskar med ökad tjocklek då andelen av tvärsnittet med lägre densitet (centrumområdet) ökar i en tjockare skiva. Fuktkvoten i spånskivan har även hög inverkan spånskivans densitet, en högre fuktkvot i materialet ger en ökad variation i skivans densitet (Myron, 1977). På grund av spånskivors stora materialvariation är det problematiskt att ta fram karaktäristiska hållfasthetsvärden och styvhet utan att jämföra dessa med korttidsprovningar av hållfastheten. Laboratiemätningar har visat på påfallande variationer inom en skiva, densiteten kan variera upp till 2 %, böjhållfastheten 3-25 % och lokala försvagningar så som nedsatt tvärdragningsförmåga har uppmärksammats (Lundgren, 1967).

Tillverkningsprocessen av spånskivor medför att man i materialet skapar skikt med flertalet spån orienterade i skivans plan och således får ett tvärsnitt med lamell liknande uppbyggnad. Detta fenomen medför att man vid påförd last erhåller spjälkning av lamellerna så kallad delaminering. Denna brottmod kan åstadkommas av tre olika lastpåföringar, drag vinkelrätt mot ytan, skjuvning och tryckbelastning i skivans plan. Det är dock vanligare att skivan knäcks på grund av tryckbelastningen i planet då skivor generellt är mycket slanka.

Delamineringen leder till att skivan brister i sitt svagaste snitt vilket är mittsnittet (Lundgren, 1967).



Figur 3.2. Densitetsskillnad i spånskiva (Myron, 1977, s.5)

### 3.1.3 Trälim

Lim kan ge ett bättre utseende, styvare fog och kan ha en bättre motståndskraft mot brand jämfört med en mekanisk infästning. Lim ger även en lättare konstruktion och man behöver inte göra hål i virket. Det är dock svårt att teoretiskt bestämma limmets hållfasthetsvärde, därför tas värdet fram av provningar (Porteous och Kermani, 2013, s.44). Lim-produkter för trä och konstruktionsvirke prövas med standardiserade fysikalisk-kemiska och mekaniska metoder enligt CEN/TC 193/SC (CEN, 2016).

I bärande konstruktioner används enbart syntetiskt lim. Eurocode-klassificeringen EN 301 innefattar konstruktionslim, fenol, aminoplast, för lastbärande strukturer: Klassificering och prestanda krav. EN 301 delas in i två klasser:

- Typ 1, klarar långtidsexponering av utomhusklimat och temperaturer över 50 °C.
- Typ 2, klarar tillfällig exponering av utomhusklimat och värme över 50 °C, men bör användas i uppvärmda- och ventilerade byggnader (samt utvändigt men med skyddat för väder).

Det finns olika typer av syntetiska lim, några exempel beskrivs nedan:

- PRF (Fenol–Resorcinol–Formaldehyd) , tvåkomponents härdplastlim som består av resorcinol och formaldehyd som blandas med fenollim. Härdas i rumstemperatur och är helt väderbeständigt samt har goda hållfasthetsegenskaper, även i höga temperaturer skapade av exempelvis brand.
- Epoxilim, härdas med en rent kemisk reaktion och behöver inget press-tryck, epoxilim är dyrare samt kräver höjda arbetsmiljökrav då det kemiska limmet kan förorsaka bland annat allergier.
- MUF (Melamin–Urea–Formaldehyd), mångsidigt med ljus färg samt att föredra av ekonomiska skäl. MUF finns som både tvåkomponent och en komponent, tvåkomponent är starkare och kan verka i Typ 1 (Blass, Aune, 1995). MUF-lim används till A-hus väggar.

Ett limförband kräver (oftast) presstryck som håller ihop konstruktionen medan limmet härdar. Presstrycket ska också leda till att limfogen blir tun genom att materialets skevhet pressas ut. (Johansson, 1991). Presstryck kan appliceras på många olika sätt och de vanligaste innefattar bland annat egenvikt, hydrauliska och pneumatiska pressar, fjädrar, klämmor, bultar, skruvar, spikar, kilar och laskar. Med avseende på ekonomi och bekvämlighet är inte pressning och fastspänning några bra alternativ. Däremot är det vanligt att spikar används, men i förband med högre krav på kapacitet eller i förband som utsätts för vibrationer passar skruvar bättre. Limmet fäster i trämaterialens porer, porerna är ca: 0.2mm i diameter för konstruktionsvirke. Smuts och större ojämnheter kan påverka limfogen negativt då limmet ej får fullständig vidhäftning. Lim sprider kraftfördelningen på en större yta jämfört med en mekanisk infästning (Kurt, 2003). Konstruktioner med liminfästning dimensioneras med avseende på att limmets hållfasthetsegenskaper överstiger de medverkande materialens och således skapar full samverkan mellan materialen (Porteous och Kermani, 2013).

## 3.2 Förutsättningar

Förutsättningar som klimat och lastvaraktighet som konstruktionen utsätts för kan reducera eller öka hållfastheten med framtagna omräkningsfaktorer enligt Eurocode 5.

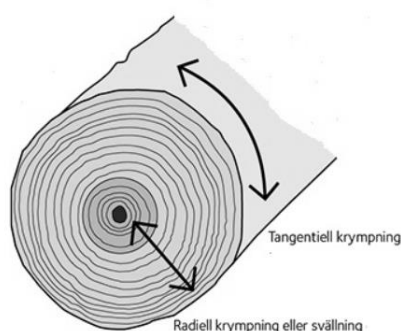
### 3.2.1 Fukt i träbaserade konstruktionsmaterial

Fukt i trä och träbaserade skivor har stor inverkan på dimensionsstabilitet och lastbärförmåga. Då materialen främst verkar i miljöer där de ej exponeras för direkt väta tar de främst upp fukt i den omgivande luften, den relativa fuktigheten blir då avgörande för den fukt mängd materialet utsätts för. Relativ fuktighet är ett mått på luftens fuktinnehåll vid en viss temperatur i förhållande till den maximala mängd fukt luften kan bära utan att kondensera vid samma temperatur. Mängden fukt luften kan bära beror på dess temperatur, hög temperatur kan bära mer fukt än låg temperatur. Luften kan ha en relativ fuktighet närmare 100 % under vintern men fortfarande ha ett mycket lägre fuktinnehåll än en sommardag med 50 % relativ fuktighet (SMHI, 2013).

#### 3.2.1.1 Fuktpåverkan i trä

Materialet trä är ett så kallat hyroskopiskt material. Det innebär att materialet strävar efter att uppnå en fuktjämnvikt med dess omgivning, fuktkvoten i virket varierar med den relativa fuktigheten i den omgivande luften och påverkar således virkets egenskaper. I ett växande träd är virket och alla dess hålrum vanligtvis mättat med vatten (fuktkvot=100 %). Om trädet fälls och torkas ut sjunker fuktkvoten i materialet då hålrummen töms på vatten, den återstående fukten är den som är bunden i cellerna och man uppnår det stadium som kallas fibermättnad med cirka 27 % fuktkvot. Virket är dimensionellt stabilt när fuktkvoten överstiger fibermättnaden men krymper om ytterligare fukt torkas ut från cellerna. Krympningen och svällningen är proportionell mot fuktkvoten men varierar i storlek i olika riktningar. Generellt är den tangentiella svällningen/krympningen dubbelt så stor som den radiella (Porteous och Kermani, 2013, kap 1.2).

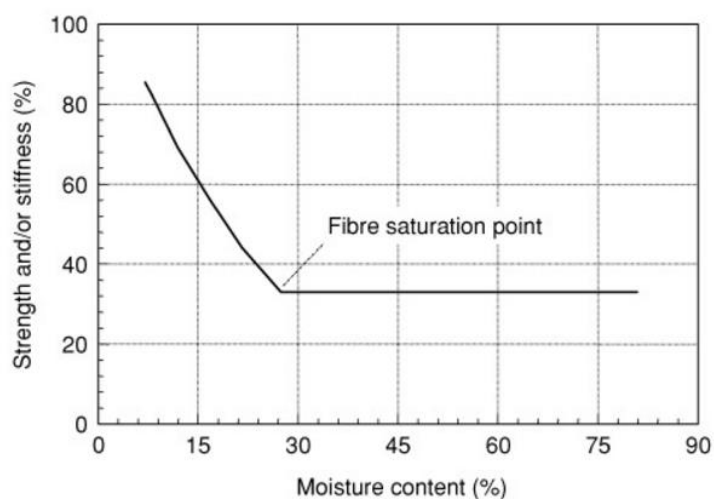
Tabell 3.1 Krypning i trämaterial



Riktning	Procent
Tangentiellt	≈ 8 %
Radiellt	≈ 4 %
Fiberriktningen	≈ 0,4 %

Figur 3.3. Krypning i trämaterial (Svenskt trä, 2016).

Det finns en generell relation mellan virkets hållfasthetsvärden och dess fuktkvot med en näst intill linjär förlust av styrka och styvhet när fuktkvoten stiger mot 27 %, vidare ökning av fuktkvot har ingen inverkan på hållfasthetsvärdena. Leveransklart virke lufttorkas idag till fuktklass 18 med en fuktkvot mellan 14 och 23 % vilket generellt ligger under fibermättnaden, dock ska fuktpåverkan i trä och träbaserade skivor alltid beaktas vid dimensionering och användning i bärande konstruktioner (Porteous och Kermani, 2013, kap 1.2).



Figur 3.4. Fuktkvotens påverkan på trämaterialets hållfasthet (Porteous och Kermani, 2013, Fig.1.5.s 9)

### 3.2.1.2 Fuktpåverkan i träbaserade skivor (Lundgren, 1967).

Träbaserade skivor reagerar med fukt likt trä, dock är påverkan hos materialet mer komplext och starkt beroende på vilken typ av skiva man hanterar.

Fuktkvoten i spånskivor varierar med temperatur och relativ fuktighet i omgivningen. Högst fuktkvot har skivorna november-december och lägst har de under maj-juni när klimatet är som torrast. Provingar av spånskivor visar att fuktkvoten i skivor som lagras utomhus varierar mellan 9 och 15 %, inomhus varierar fuktkvoten mindre (6 till 9 %). Högst fuktkvot erhålls i krypgrunder där nivåer över 24 % tidvis uppnås.

Spånskivans tryckhållfasthet i dess plan minskar med ca 30 % då den relativa fuktigheten stiger från 65 % till 90 %. Denna skillnad är betydligt större än vid dragprovning då draghållfastheten vid samma relativa fuktigheter endast sjunker med 4,5 %. Fuktinnehållets stora reducering av tryckhållfastheten i spånskivor gör materialet känsligt mot exponering av fukt och leder till att karaktäristiska hållfasthetsvärden blir beroende av fuktkvot och således ej entydigt bestämt.

### 3.2.2 Klimatklass

Klimatklasserna 1-3 klassificeras beroende på klimatets relativa luftfuktighet och fuktkvoten i träet:

Tabell 3.2 Klimatklass (Eurocode software, 2011).

Klimatklass	Relativ fuktighet [%]	Fuktkvot i träet [%]	Typ av konstruktion/lokal
1	$\leq 65$	$\leq 12$	Konstruktioner inomhus i varaktigt uppvärmda byggnader utan luftfuktning. Kalla men ventilerade vindsutrymmen. Ytterväggar i varaktigt uppvärmda byggnader skyddade av ventilerad, tät beklädnad.
2	$\leq 85$	$\leq 18$	Konstruktioner i icke uppvärmda men ventilerade byggnader eller lokaler med icke fuktalstrande verksamhet eller lager, t.ex. fritidshus och kallgarage.  Yttertakpaneler
3	$\geq 85$	$\geq 18$	Konstruktioner direktkontakt med mark eller oskyddade mot väta.

### 3.2.3 Lastvaraktighet

Lastvaraktigheten delas in i 5 steg beroende på hur länge konstruktionen utsätts för last:

Tabell 3.3 Lastvaraktighet (Eurocode software, 2011).

Lasttyp	Tidsintervall	Exempel på lasttyper
Permanent	>10 år	Egentyngd av permanenta byggnadsdelar (egentyngd)
Lång tid	6 månader – 10 år	Den bundna lastdelen av nyttig last av inredning och personer.
Medellång tid	1 vecka - 6 månader	Den fria lastdelen av nyttig last av inredning och personer. Snölast med vanligt väder.
Kort tid	Mindre än 1 vecka	Vindlast. Snölast med karakteristiskt värde. Enstaka koncentrerade last på yttertak
Momentan		Olyckslast

## 4 Normer och dimensioneringsregler

### 4.1 Eurocode 5

Eurokoderna innehåller metoder för att verifiera byggnadsverks och enskilda byggnadsverksdelars bärförmåga, stadga och beständighet samt deras funktionsduglighet då de utsätts för brand. Eurocode-programmet består av ett antal delar där EN 1995, Eurocode 5, beskriver dimensionering av träkonstruktioner. Eurocode 5 beskriver principer och krav rörande säkerhet, brukbarhet och beständighet hos bärverk av trä. Den baseras på principen om gränstillstånd i detta fall använt tillsammans med partialkoefficientmetoden (Eurocode 5, 2009).

- Brottsgränstillstånd: Verifiering av brottsgränstillstånd (Ultimate Limit State) är då konstruktionen är på gränsen att förlora sin bärförmåga.
- Bruksgränstillstånd: Verifiering av funktionskrav sker i bruksgränstillstånd (Serviceability Limit State) då konstruktionen är på gränsen att förlora sin funktion i något avseende, exempelvis max utböjning på en regelvägg. Brott- och bruksgränstillstånd har olika uppsättningar av beräkningsförutsättningar där säkerheten mot brott måste vara betydligt högre.
- Partialkoefficientmetoden: Partialkoefficienter ökar eller reducerar värdet hos material och last beroende på dess varaktighet, klimat och frekvens så säkerheten ligger på ”säkra sidan”

### 4.2 Structural timber design to Eurocode 5

Då Eurocode 5 endast är en standard och ej alltid beskriver hur man praktiskt kan använda dess information kan även boken ”Structural timber design to Eurocode 5” användas. Den vägleder regler och normer som är baserad på Eurocode 5 och beskriver flera tillvägagångssätt för beräkningar av bland annat konstruktioner och sammansatta element av trä (Porteous och Kermani, 2013).

### 4.3 Sammanställning av litteratur

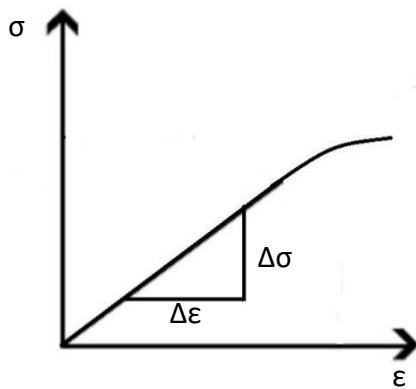
Arbetet har i stor utsträckning utgått från standarden Eurocode 5 då denna är tillämpad på materialet trä samt samverkanskonstruktioner. Kapitel 6.3.2 samt bilaga-C i Eurocode 5 är de kapitel som främst är tillämpbara på arbetets beräkningsmodell då det handlar om samverkanskonstruktioner av trä med element av skivor samt reglar. Dock så finns ingen direkt tillämpbar beräkningsmodell för en sammansatt vägg med en stabiliserande skiva. Detta resulterar i att beräkningsmodellen fick tas fram av en kombination av befintliga modeller ur Eurocode 5 som var och en av dem representerar en del av beräkningen. För att ta fram en sammansatt styvhet användes bilaga B i Eurocode 5 då den beskriver styvheten för sammansatta balkar vilket man kan även kan tillämpa på pelare enligt Porteous och Kermani, (2013), *kap 1.2*.

### 4.3.1 Elasticitetsmodul

Enligt Hookes lag gäller följande samband mellan spänning och töjning för elastiska material:

$$\sigma = \varepsilon \times E \quad (4.1)$$

Där spänningen är proportionell mot töjningen med faktorn E som är materialets elasticitetsmodul med enheten [Pa] (Johannesson och Vretblad 2011). För de flesta konstruktionsmaterial kan man hitta karaktäristiska värden på elasticitetsmodulen i diverse tabellverk. Då tvärsnittet består av olika material är man istället tvungen att beräkna den sammanlagda elasticitetsmodulen eller söka den empiriskt. Att söka den empiriskt kräver att både spänning och töjning i det elastiska området av last-deformationsförhållandet uppmäts i försök.



Figur 4.1. Elasticitetsmodulen, samband mellan spänning och töjning

### 4.3.2 Styvhet och slankhetstal

Enligt Eurocode 5 samt Structural timber design kan väggelementet analyseras som en pelare med vertikal belastning över hela tvärsnittet, tvärsnittet blir således ett smalt liv (skivan) med flänsar (reglar) som samverkar. Detta medför att tvärsnittet ej utsätts för något böjande moment och deformationen blir således endast vertikal. Tvärsnittets karakteristiska styvhet kan beräknas enligt ekvation B.1 i Eurocode 5 bilaga B och presenteras i ekvation (4.2).

$$(EI)_{ef} = \sum(E_i I_i + \gamma_i E_i I_i a_i^2) \quad (4.2)$$

Där

$$\gamma_i = [1 + \pi^2 E_i A_i S_i / (K_i l^2)]^{-1} \quad (4.3)$$

Den sammanlagda styvheten för tvärsnittet blir som synes summan av styvheten för de ingående materialen plus Steinerbidraget multiplicerat med en reduceringsfaktor  $\gamma_i$ . Faktorn  $\gamma_i$  beaktar lastöverföringsförmågan mellan elementen i konstruktionen och reducerar styvheten i förhållande till infästningens styvhet genom faktorn  $K_i$ , vilken är



förskjutningsmodulen per förbindare. Vid limmad infästning går  $K_i$  mot oändligheten och  $\gamma_i$  blir således 1, vilket innebär full samverkan.

Tvårsnittet med två centrerade reglar som beräknas i detta arbete får en sammanlagd styvhet enligt ekvation (4.4) då det består av tre element varav två av dem är likadana och symmetriska runt tyngdpunkten:

$$(EI)_{ef} = E_1 I_1 + 2\gamma_i E_2 I_2 a^2 \quad (4.4)$$

Där  $E_1 I_1$  är böjstyvheten för spånskivan och  $E_2 I_2$  är böjstyvheten för regeln.

För att kontrollera en pelare mot knäckning samt reducera den karakteristiska hållfastheten använder man sig av ett slankhetstal  $\lambda$ , se ekvation (4.5)

$$\lambda = l \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{tot}}} \quad (4.5)$$

Med en sammanlagd styvhet får man ett slankhetstal enligt ekvation (4.6).

$$\lambda = l \sqrt{\frac{EA_{tot}}{EI_{tot}}} \quad (4.6)$$

Där:

$$EA_{tot} = \sum E_i A_i \quad (4.7)$$

Övriga reduceringsfaktorer ( $\lambda_{rel}$ ,  $k_{z,i}$  och  $k_{c,z,i}$ ) beräknas enligt Eurocode 5 kapitel 6.3.2 med de framtagna uttrycken för sammanlagd styvhet samt slankhetstal.

Dimensioneringskraven för pelare utsatta för enbart tryckbelastning hittas under samma kapitel och anges i ekvation (4.8) och (4.9).

$$\sigma_{c,0,d,i} \leq k_{c,z,i} f_{c,0,d,i} \quad (4.8)$$

Där:

$$\sigma_{c,0,d,i} = \frac{E_i F_{c,d}}{\sum E_i A_i} \quad (4.9)$$

Efter sammanslagning och omskrivning får man ett uttryck för dimensionerande axialkraft enligt ekvation (4.10).

$$F_{c,d} = \frac{\sum (E_i A_i) k_{c,y,i} f_{c,0,d,i}}{E_i} \quad (4.10)$$

Då rapporten bortser från inverkan av långtidslaster och klimat kommer  $F_{c,d}$  kallas N i resterande del av rapporten samt beräkningar.

### 4.3.3 Deformationer

Då krafter påförs en struktur börjar materialen i den att deformeras. De deformationer man talar om i materialet uppkommer av de krafter man påför så som tryckkrafter, dragkrafter eller skjuvkrafter samt böjande moment. Vår sammansatta pelare som endast belastas med en vertikal tryckkraft kommer få en vertikal längdsdeformation med storlek beroende på den kraft man påför, denna deformation beskrivs i ekvation (4.11).

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA_{tot}} \quad (4.11)$$

Detta uttryck tar inte lastens varaktighet eller strukturens klimatklass i beaktande, detta för att ge en reell uppskattning av den omedelbara deformationen kopplad till den kraft man påför (Johannesson och Vretblad 2011).

## 4.4 Beräkningsmodell

Beräkningarna är baserade och framtagna enligt Eurocode 5 och Structural timber design. För ett trovärdigt karakteristiskt hållfasthetsvärde har den karakteristiska hållfastheten för reglarna  $f_{0,k}$  ökat med faktor som enligt Eurocode 5 byggs på en standardavvikelse multiplicerat med 1.65, adderat till  $f_{c,0,k}$ . I detta arbete har istället en faktor på 1,34 multiplicerats till  $f_{c,0,k}$  för att återspegla ett medelvärde ( $f_{medel}$ ). Faktor är en uppskattning av  $f_{medel}$  framtagen efter diskussion med handledare.

Väggelementet modelleras som en samverkanspelare med enbart vertikal belastning över hela tvärsnittet med sammanlagd styvhet och slankhetstal.

Beräkningsgång:

1. Materialegenskaper (elasticitetsmodul o.d.) för medverkande material erhålls ur tabellverk, exempelvis (Johannesson och Vretblad, 2011).
2. Det aktuella tvärsnittets geometri analyseras och vek riktning bestäms för vidare beräkningar.
3. Samverkans effektivitetsfaktorn  $\gamma_i$  beräknas beroende på infästning enligt ekvation (4.3).
4. Ett sammansatt EI värde beräknas med känt  $\gamma_i$  enligt ekvation (4.2).
5. Ett sammansatt EA värde beräknas enligt ekvation (4.7).
6. Slankhetstalet  $\lambda$  kan nu beräknas enligt ekvation (4.6).
7.  $\lambda_{rel}$ ,  $K_{z,i}$  och  $K_{c,z,i}$  beräknas för de ingående materialen enligt Eurocode 5 kapitel 6.3.2.
8. Axiell tryckkraft beräknas slutligen med kända parametrar enligt ekvation (4.10).
9. Ett uppskattningsvärde på vertikal deformation beräknas enligt ekvation (4.11)

## 4.5 Alternativa beräkningsmetoder

En alternativ beräkningsmodell för ett sammansatt element som ej används i denna rapport är "ekvivalenta tvärsnittsmodellen" vilken viktar materialen utifrån deras elasticitetsmodul, d.v.s. ett styvt material förstoras procentuellt tills det har samma elasticitetsvärde som det samverkande materialet. Denna metod används framför allt för armering i betongkonstruktioner och är således inte direkt tillämpbar på konstruktioner utav trä (Porteous och Kermani, 2013, *kap 7.3.1*). En annan beräkningsmodell skulle vara att se elementet som en traditionell regelvägg med medverkande skivverkan enligt Eurocode 5 kapitel 9.2.4. Dock kan denna modell verka missvisande då den endast är tillämpbar på vägar med mekanisk infästning utan full samverkan samt på element med bärande ramverk. Ramverket består av både vertikala samt horisontella regler vilket A-hus element inte har. A-hus element har också limmad infästning och inte mekanisk vilket medför full samverkan.

## 5 Labbförsök

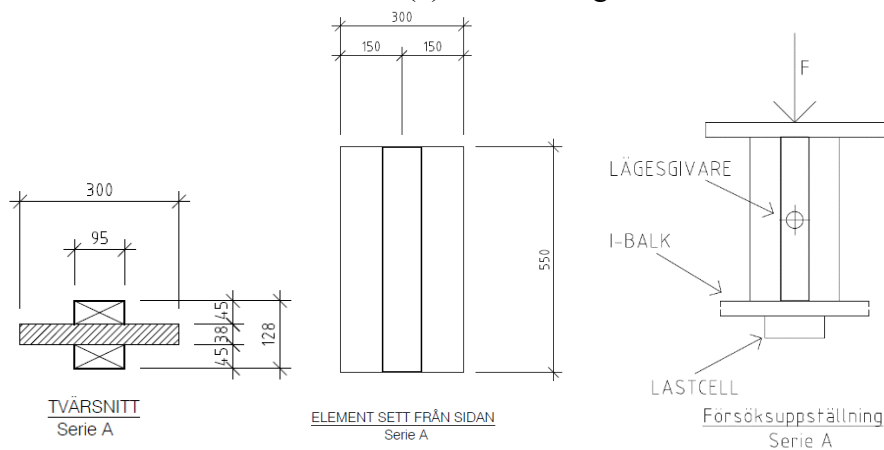
### 5.1 Testelement

Totalt har försöket inkluderat elva element uppdelat på tre olika serier, Serie A, B och C. Alla serier har vertikala regler med liminfästning till spånskivan, dock har serie B och C även spikinfästning för att garantera limtrycket.

Elementens ovansida har valts slumpmässigt, även de så kallade a- och b-sida har valts slumpmässigt.

#### 5.1.1 Serie A

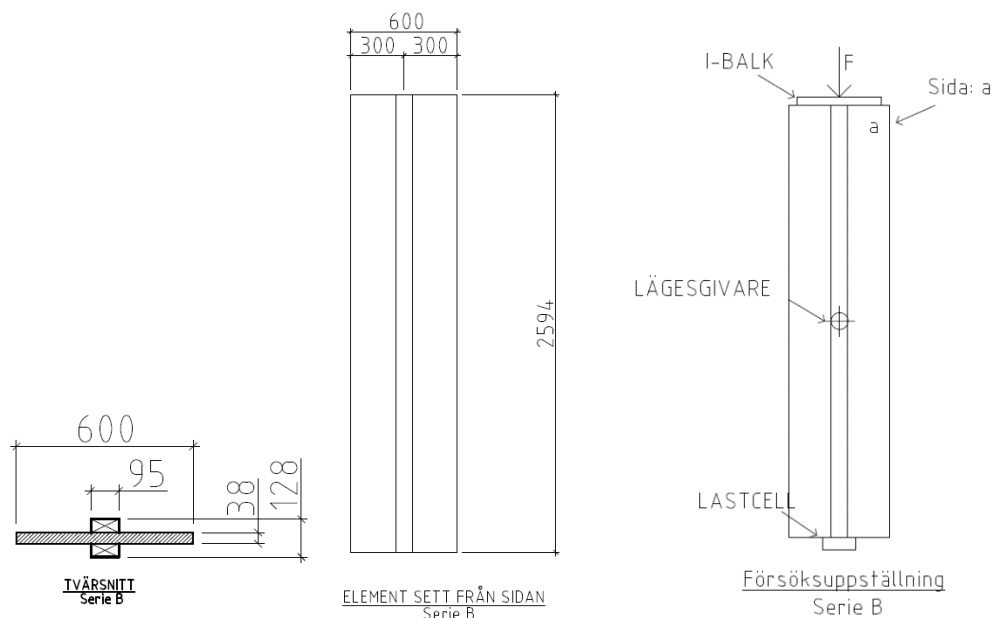
En del av väggelementet 300x550mm (bxh) med endast ett regelpar centrerade på provbiten. Serie A har en reducerad höjd för att undvika risk för knäckning och således ger testet uppgifter om materialens samverkan samt materialegenskaper så som elasticitetsmodul vid rent tryckbrott. För att undvika risk för knäckning har höjden valts sådan att elementets slankhetstal ( $\lambda$ ) inte överstiger 15.



Figur 5.1. Serie A, element och lastfall

## 5.1.2 Serie B

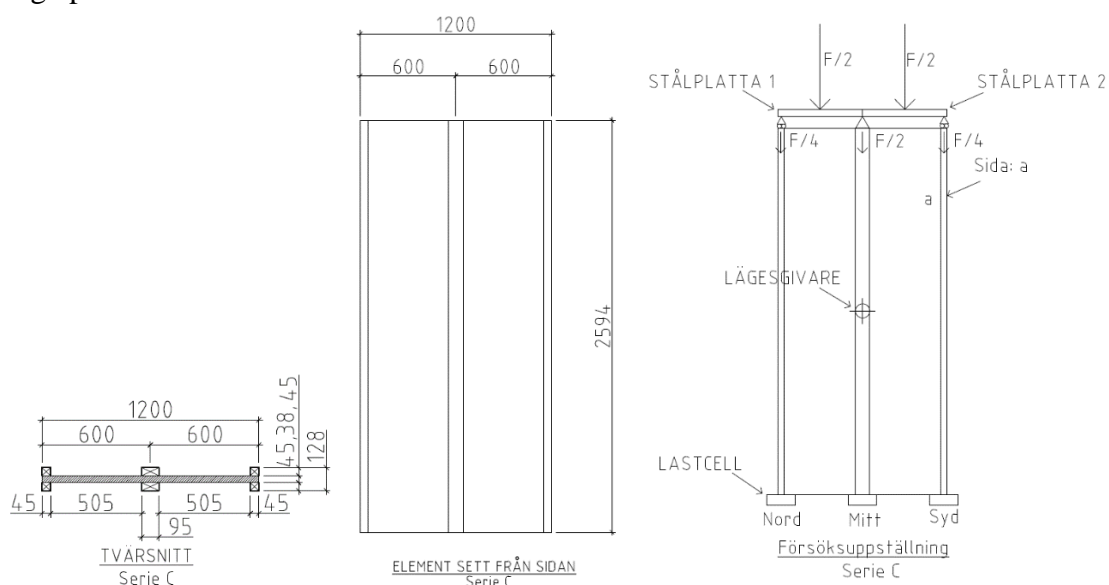
Ett snitt av väggelementet med full höjd på regler samt en reducerad bredd 600x2594mm (bxh) med ett centrerat regelpar. Serie B har gett en uppskattning om hur enskilda regelpar beter sig i sin fulla längd utan fördelning av kraft till övriga regler. Då elementet är mycket slankt ( $\lambda \approx 70$ ) antogs elementet knäcka och följaktligen kan knäckningens inverkan på elementet undersökas.



Figur 5.2. Serie B, element och lastfall

## 5.1.3 Serie C

En del av väggelementet med full höjd på regler och en bredd på 1200mm. Element ur Serie C innehåller tre stycken regelpar med centrumavstånd 600mm. De två centrerade reglarna är av typen C24 (45x95mm), de fyra reglarna som fästs i kanten är av typen C24 (45x45mm). Detta upplägg syftar till att undersöka hur väl krafterna leds mellan reglarna via skivverkan i spånskivan samt undersöka lastfördelningen mellan regelparen i elementet.

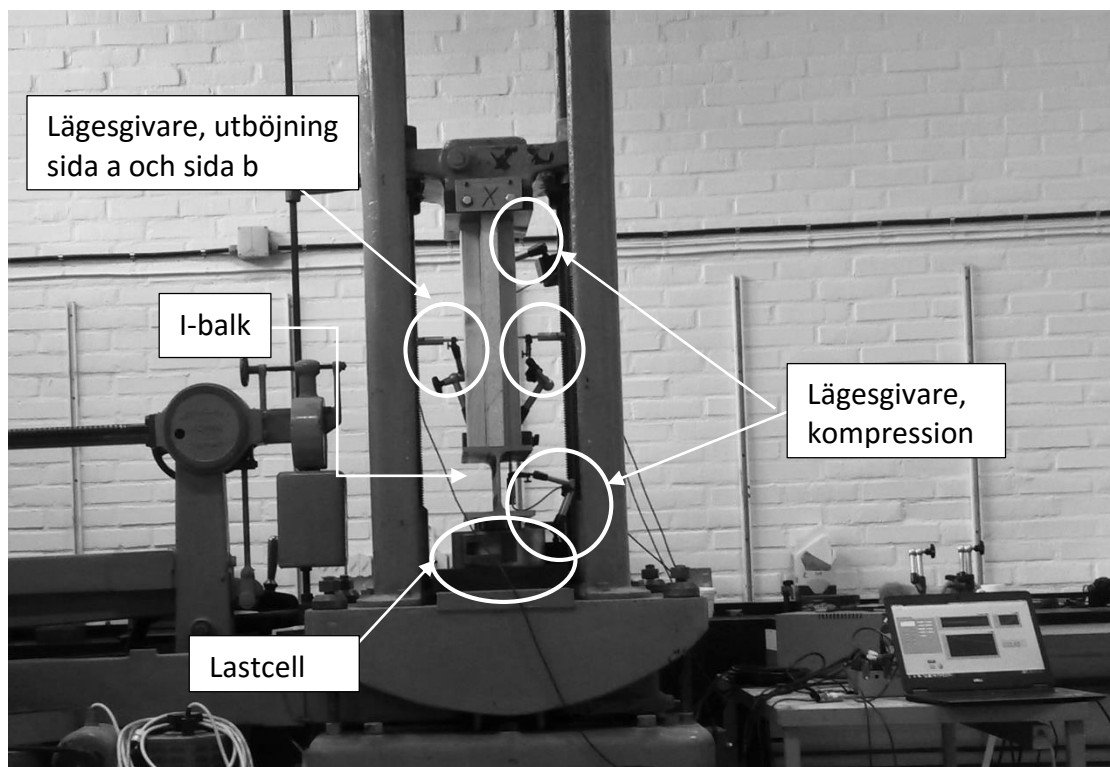


Figur 5.3. Serie C, element och lastfall

## 5.2 Försöksmetod

Försöket har genomförts i labbet för konstruktionsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Med hjälp av hydrauliska domkrafter skapade man kraften på elementet, ett utbrett styvt material skiljde elementet från domkraften så att punktlasten spreds ut på elementet. För att belasta elementet vinkelrätt lodades det in med hjälp av ett stegpass (vattenpass) tills belastning-tryck höll elementet stabilt. En vertikal lägesgivare placerades vid domkraften för att mäta elementets kompression. En lägesgivare placerades horisontellt i mitten av elementets längd för att mäta maximal utböjning.

### 5.2.1 Uppställning



Figur 5.4. Uppställning av serie A i Alpha-maskinen

Serie A provades stående och belastades över hela tvärsnittet med en konstant deformation/tidsenhet till brott (1mm/min). Data för den påförda kraften sparades ner och brottstyp inspekterades visuellt. Då serie A har en lägre höjd än Serie B och C tilläts den att provas i den så kallade Alpha-maskinen, Alpha-maskinen är en gängpress som fungerar på samma sätt som en domkraft. Totalt provades 5 stycken provkroppar av serie A.

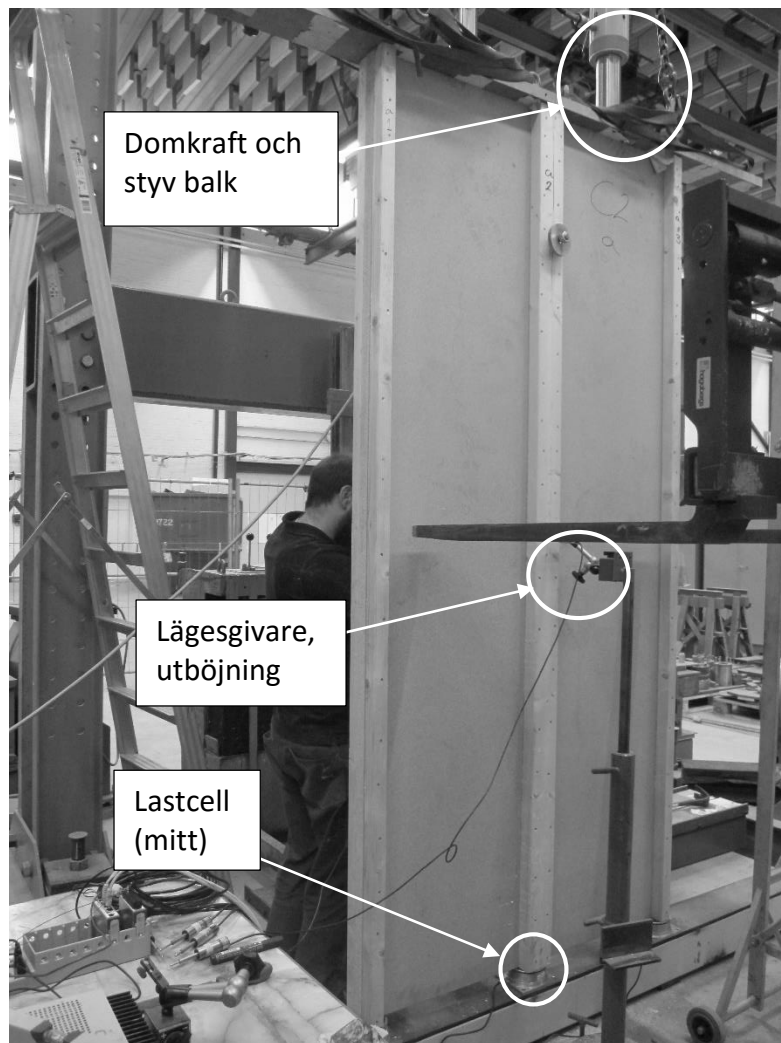


Figur 5.5. Uppställning överkant, domkraft samt I-balk som lastfördelare



Figur 5.6. Uppställning på lastcell, underkant.

Serie B provades stående och belastades över en yta med längd av 500mm centrerat över elementet, belastningsytan täckte inte hela tvärsnittet för att observationer av stämplingen i spånskivan skulle vara möjliga, se Figur 5.5. Serie B belastades med en konstant deformation/tidsenhet till brott (1mm/min). Kraft som påförs, utböjning samt kompression mättes av och sparades ner för analys. Utböjningen mättes på halva höjden av elementet och i centrum av regeln. Då elementet var slankt torde excentricitet och eventuella defekter vara avgörande för de resultat man kunde utläsa av provningen. Totalt provades 3 stycken provkroppar av serie B.



Figur 5.7. Uppställning serie C, En truck placerades på vardera sida av elementet för att skydda mot okontrollerad knäckning.

Serie C provades stående och belastades över hela tvärsnittet med en konstant deformation/tidsenhet till brott (1mm/min). För att fördela kraften över elementet användes två styva balkar som skarvades i centrum av mittreglarna, se Figur 5.7, lasten fördelades då utan stödmoment över reglarna vilket en kontinuerlig balk skulle skapat. De medverkande stödmomenten hade fördelat lasten önskat och medverkat till större vertikala mittdeformationer hos elementet. Mittreglarna av dimension 45x95 mm fick då ta upp en dubbelt så stor vertikal tryckkraft då den tar kraft från båda domkrafterna. Domkrafterna placerades i centrum mellan mitt- och ytterreglarna. En lastcell placerades under varje regelpar för att avläsa hur mycket utav den sammanlagda kraften som leddes via respektive regelpar. Kraft som påfördes, utböjning samt kompression mättes av och sparades ner för analys. Då elementet var slankt torde excentricitet och eventuella defekter vara avgörande för de resultat man kunde utläsa av provningen. Provningsen av serie C syftade till att ge en uppfattning om lastöverföringsförmågan genom spånskivan och hur elementet beter sig som vägg. Totalt provades 3 stycken provkroppar av serie C.



## 5.2.2 Provkroppsfordelning

Antalet provkroppar av varje serie berodde på den antagna spridningen av uppmätta värden. Fem provkroppar av serie A gav ett mer trovärdigt värde på styvheten, då det ej var risk för knäckning. Provningen av serie B och C antogs ge en större spridning av mätvärden då knäckning inverkade och eventuella defekter torde påverka i högre grad. För att uppnå ett trovärdigt värde på styvhet hade ett större antal provningar av serie B och C behövts göras vilket det tyvärr inte fanns resurser för. Provningen av dessa element gav därför enbart ett uppskattningsbart värde på dess styvhet.

## 5.2.3 Förarbete inför försök

För att kunna dra slutsatser kring de data provningen gav krävdes det att alla eventuella defekter var kända för respektive element innan provning. Initial krokighet, misslyckad limning och materialvariationer kontrollerades och noterades därför innan provningen. Elementen lagrades innan provning i samma lokal där temperatur och luftfuktighet hölls stabilt, detta för att elementen skulle provas under lika förutsättningar.

I samband med brottprovningen uttogs en provbit med hålsåg, diameter ca 50mm i brottsnittet. Provbiten vägdes och placerades i en torkugn (105 °C), provbiten vägdes tills vikten stabiliserats. Fuktkvoten bestämdes genom förhållandet av det förångade vattnet och provbiten efter torkning.

## 5.3 Förväntade testvärden

Tabell 5.1 Förväntade testvärden

Serie	Antal element	Brottslast vid full samverkan (Lim) [kN]	Brottslast vid viss samverkan (enbart spik) [kN]	Kompression [mm]	Slankhets-tal, $\lambda$ [-]
A	5	297	253	3	13.86
B	3	188	40	4	70.52
C	3	378	73	4	56.94

De förväntade testvärdena är framtagna med hjälp av beräkningsgången från Kapitel 4.4 vid momentan tryckbelastning. Vid limmad infästning räknade vi med ett fullt sammansatt tvärsnitt och  $\gamma_i$  blir således lika med 1. Den spikade infästningen är enbart partiellt sammansatt vilket man tar hänsyn till genom att  $\gamma_i$  blev en reduktionsfaktor med avseende på spikens och anslutningens egenskaper. Som synes blev serie B och C kraftigt reducerade vid enbart spikad infästning på grund av dess långa anslutningssnitt/samverkan mellan materialen. Fullständig beräkning kan ses i Bilaga C.

## 6 Resultat

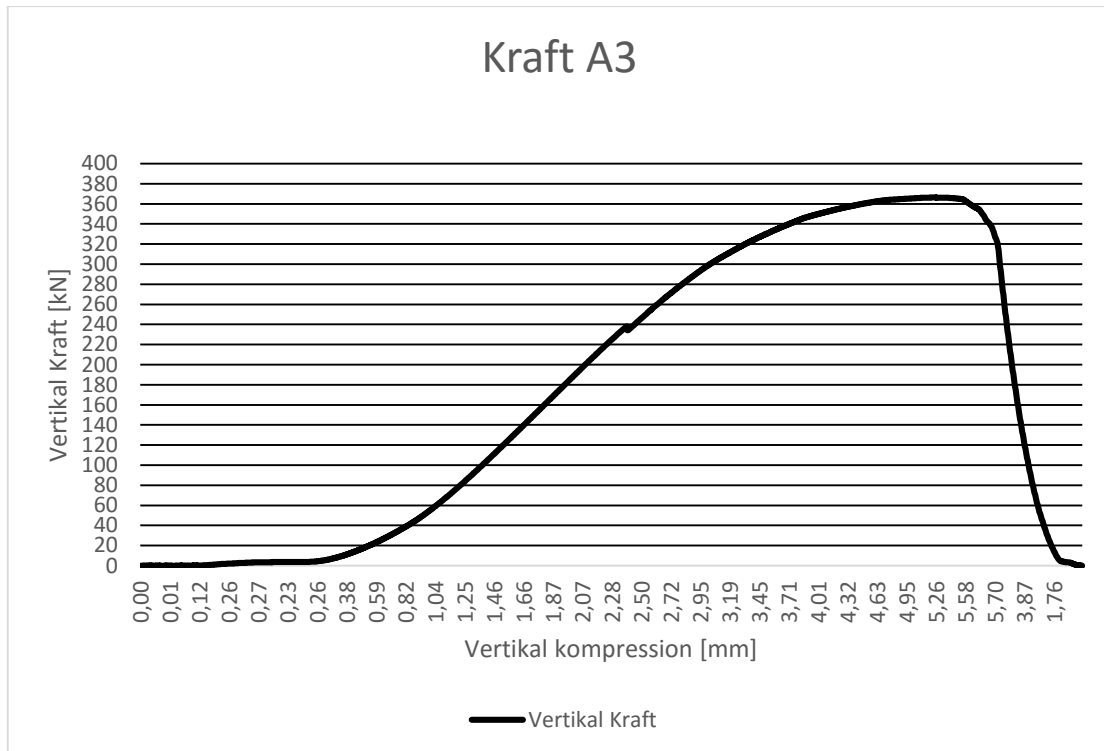
Då brotten i denna studie övergripande var sega har brottslast definierats som det stadium då deformationer ökar trots att ingen ytterligare last påförs elementet. Efter försöket uppnådde det stadium lastades elementet av för att ej orsaka ett okontrollerat brott med stora säkerhetsrisker. Brottslasten kunde liknas vid flytgränsen för stålprofiler då resulterande last-deformations grafer påminner mycket om de för stål-brott. Brottslasten beslutades vara det enskilt största värdet i kN som uppmättes under försöket.

Eventuella hack i graferna uppmärksammade och kopplats till sättningar i materialen under försöket. Graferna i Figur 6.1 - 6.6 beskriver seriens typbrott, vertikala kompression och utböjning, grafer för alla försök presenteras i Bilaga B.

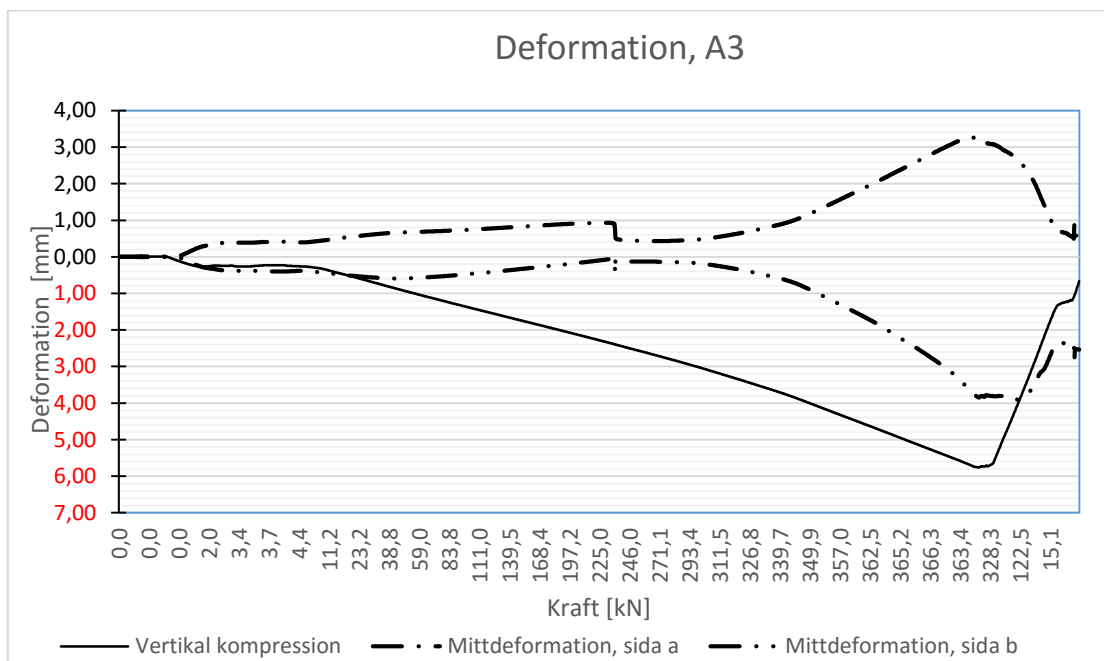
### 6.1 Serie A

Tabell 6.1 Resultat serie A

Försöksresultat Serie A						
Test-element	Brottslast [kN]	Kompression [mm]	Utböjning [mm]	Fuktkvot Trä [%]	Fuktkvot Spånskiva [%]	Typ av Brott
A1	349,4	5,1	2,2	14,2	9,0	Stukning av regel och spånskiva orsakat av limbrott
A2	326,9	5,6	4,0	13,9	8,3	Knäckning av regel och spånskiva orsakat av limbrott
A3	366,4	5,8	3,9	16,4	8,2	Limbrott
A4	326,4	5,1	5,6	13,7	8,4	Stukning av regel orsakat av limbrott
A5	341,6	5,9	2,9	16,6	8,2	Knäckning av regel och spånskiva orsakat av limbrott
Medel:	342,2	5,5	3,7	14,9	8,4	
standard-avvikelse	14,97	0,34	1,17	1,28	0,31	



Figur 6.1. Kraft-deformations samband, A3



Figur 6.2. Deformationsutveckling i olika riktningar, A3

Följande beskrivning av Figur 6.1 och 6.2 ur Serie A kan även appliceras som beskrivning på Figur 6.3 - 6.6 ur Serie B och C, dock med förskjutna faser.

Figur 6.1 beskriver vertikal kraft och vertikal kompression, kurvan kan delas in i tre faser: ”sättnings-fas” (0-20kN), ”elasto-plastisk-fas” (20-350kN) och ”brotts-fas” (350-366kN). Vid 240kN sker en sättning i Figur 6.1 som kan jämföras parallellt mot Figur 6.2. Utböjningen och den vertikala deformationen accelererar i brottsfasen och kan tydligt ses i Figur 6.2 tillsammans med sida a:s och sida b:s deformation på vardera sida av elementet.

Tabell 6.2 E-modul för sammansatt element

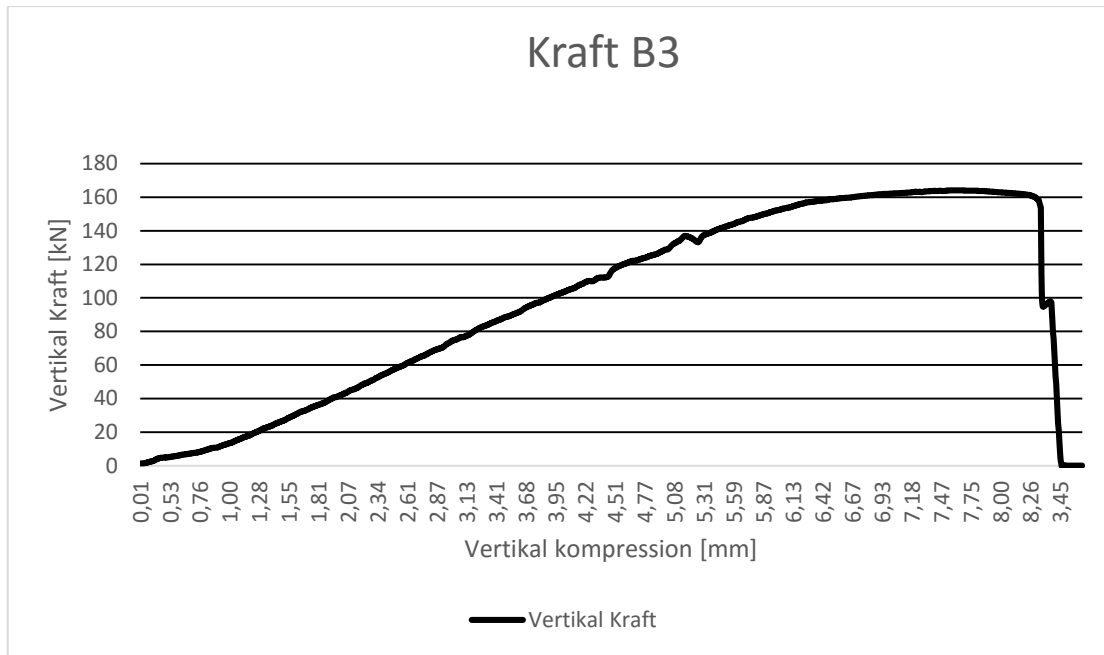
Serie A	E-modul [GPa]	F1 [kN]	F2 [kN]	Brottslast [kN]
A1	3,2	40,1	260,1	349,4
A2	3,0	40,3	220,2	326,9
A3	3,7	70,9	228,0	366,4
A4	3,2	58,3	192,6	326,4
A5	3,1	57,0	220,3	341,6
Medel	3,2			
Standardavvikelse	0,25			

För E-modulen för de olika elementen samt medelvärdet och standardavvikelsen se Tabell 6.2. F1 och F2 är kraft i det elastiska området som har konverterats till spänning där förhållandet mot töjningen bestämt E-modulen.

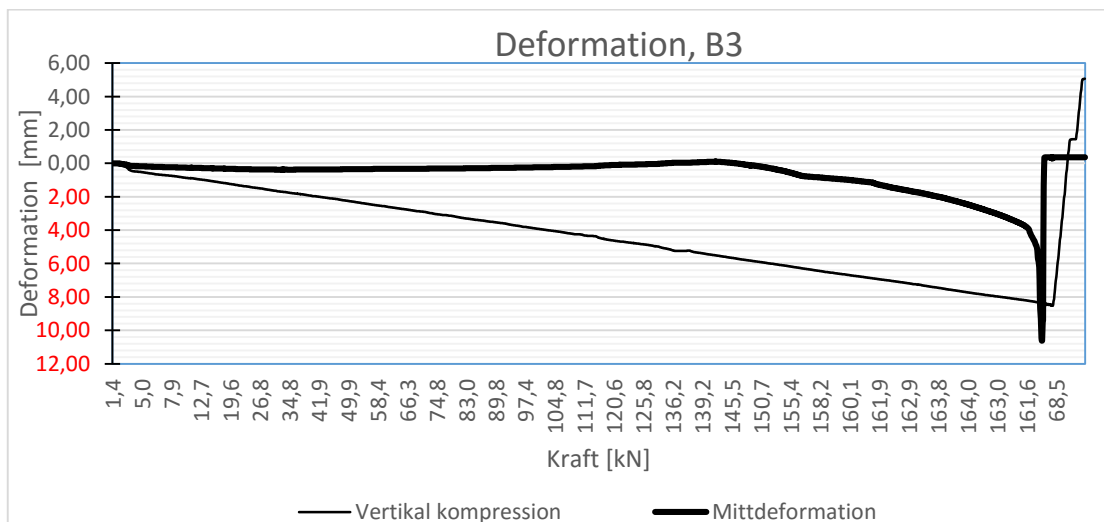
## 6.2 Serie B

Tabell 6.3 Resultat serie B

Försöksresultat Serie B				
Test-element	Brottslast [kN]	Kompression [mm]	Utböjning [mm]	Typ av Brott
B1	155,8	9,1	9,7	Limbrott
B2	184,6	11,1	16,0	Limbrott
B3	164,1	8,6	10,6	Limbrott, krossning spånskiva över lastcell
Medel:	168,2	9,6	12,1	
standard-avvikelse	12,12	1,07	2,77	



Figur 6.3. Kraft-deformationssamband, B3



Figur 6.4. Deformationsutveckling i olika riktningar, B3

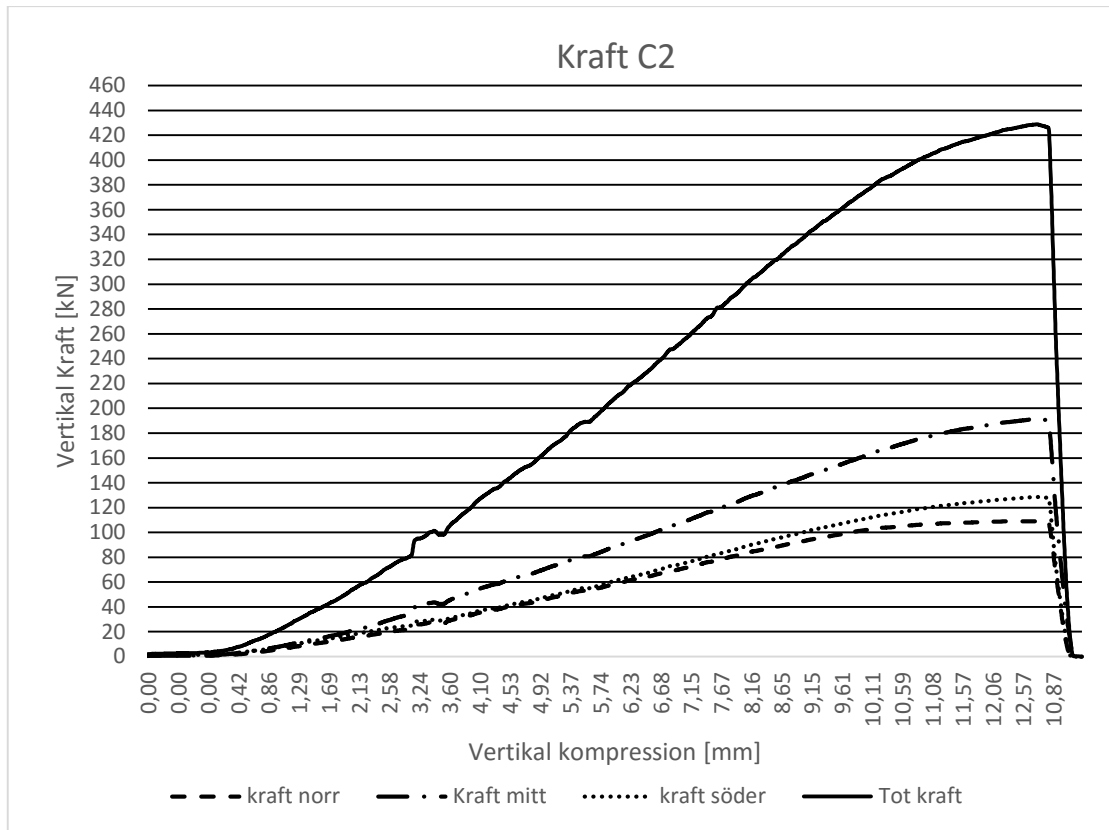
På grund av de stora deformationerna i Serie B mättes endast mittdeformationen på den utbuktande sidan.

## 6.3 Serie C

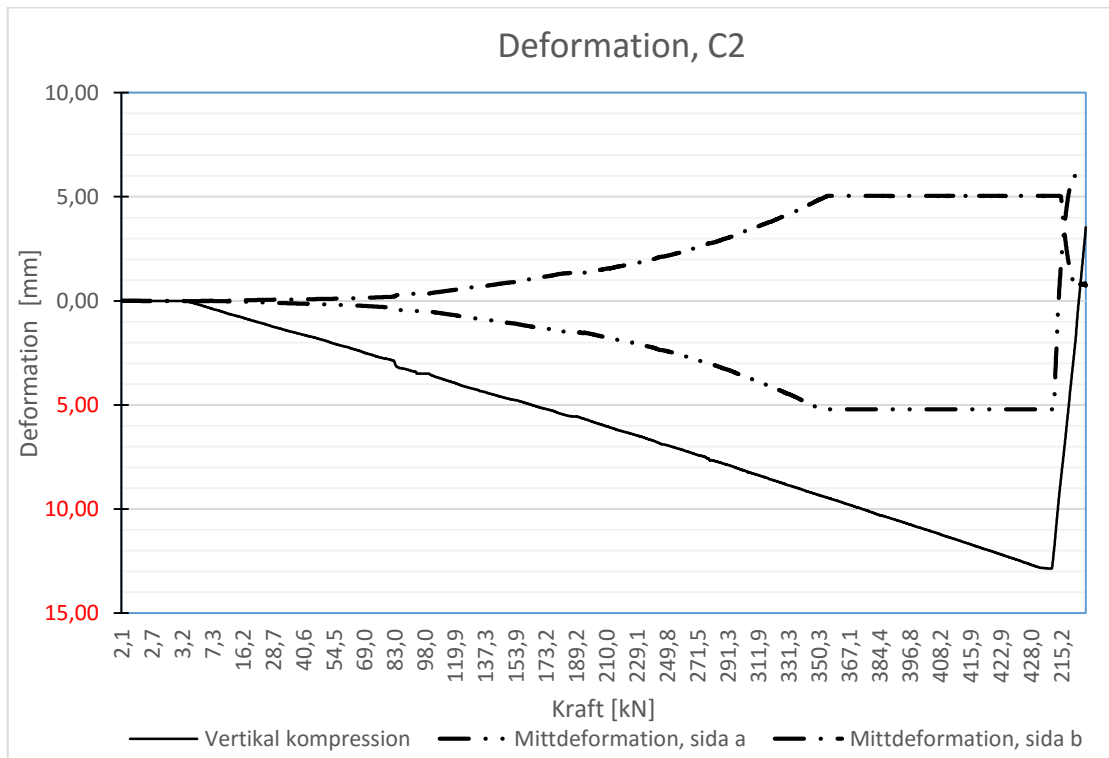
Tabell 6.4 Resultat serie C

Försöksresultat Serie C							
Test-element	Brottslast-Tot [kN]	Brottslast-Nord [kN]	Brottslast-Mitt [kN]	Brottslast-Syd [kN]	Kompression [mm]	Utböjning [mm]	Typ av Brott
C1	388,1	111,5	185,5	97,9	13,1	5,1	Limbrott
C2	428,8	109,0	191,3	128,6	12,9	5,2	Limbrott/ delaminering av spånskiva
C3	405,6	113,4	173,0	122,4	14,1	6,2	Limbrott/ krossning av spånskiva vid upplag
Medel:	407,5	111,3	183,3	116,3	13,4	5,5	
standard- avvikelse	16,68	1,80	7,64	13,25	0,54	0,49	

Kolumnerna Brottslast Nord, Mitt och Syd i Tabell 6.4 redovisar de uppmätta brottslasterna från de tre lastcellerna med placering under respektive regelpar.



Figur 6.5. Kraft-deformations samband, C2



Figur 6.6. Deformationsutveckling i olika riktningar, C2

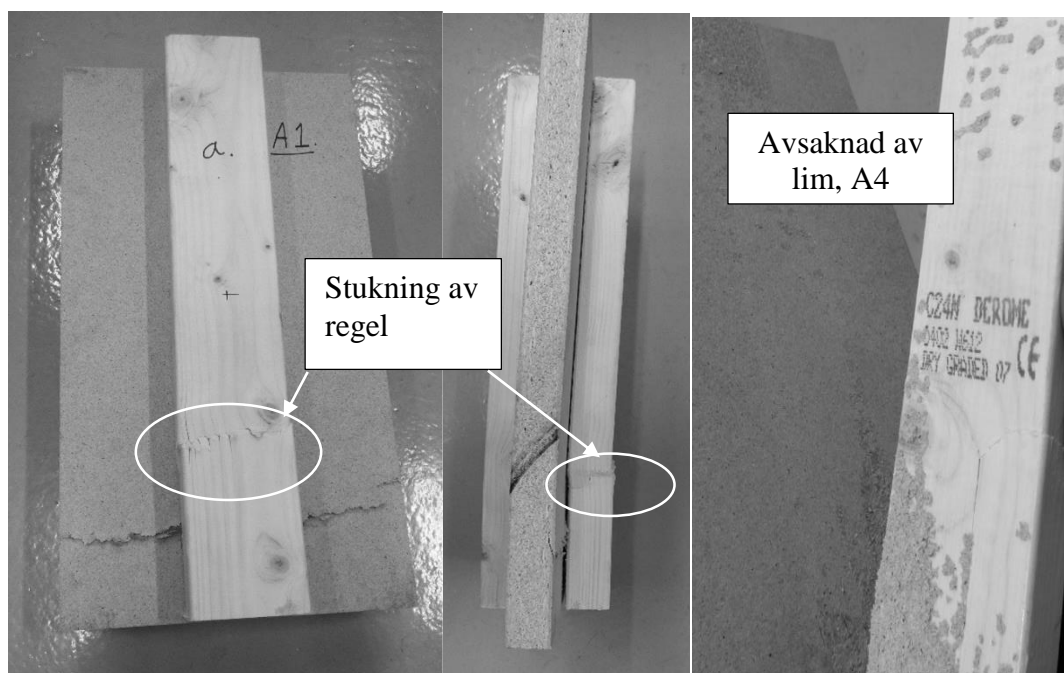
## 7 Analys

Analysen tar upp och beskriver brott och möjliga kopplingar till faktorer exempelvis, fukt och material samt eventuella felkällor.

Tabell 7.1 Beräknad och uppmätt brottslast

Serie	Beräknad brottslast [kN]	Uppmätt medelbrottslast [kN]	Avvikelse [%]
A	297	342,2	+ 15,2
B	188	168,2	- 10,5
C	378	407,5	+ 7,8

### 7.1 Serie A



Figur 7.1. Brott, Serie A.

Figur 7.2. Limning A4

Limbrott var avgörande för alla element med stukningen av regeln och knäckning av spånskivan som direkt följd av limbrottet. Figur 7.1 visar tryckbrott av element A1, stukbrottet i regeln tyder på ett rent tryckbrott och att ingen knäckning inverkat. Knäckningsbrottet i spånskivan blir till följd av att regeln stukas, då all last verkar på spånskivan som är slank och följaktligen knäcks. Knäckbroten i A2 och A5 sker i anslutning (runt eller igenom) en eller flera kvistar. A4 med lägst last hade stor avsaknad av lim på den stukade regeln, se Figur 7.2, jämfört med A1 som hade fullt limmad kontaktyta mellan regel och spånskiva.



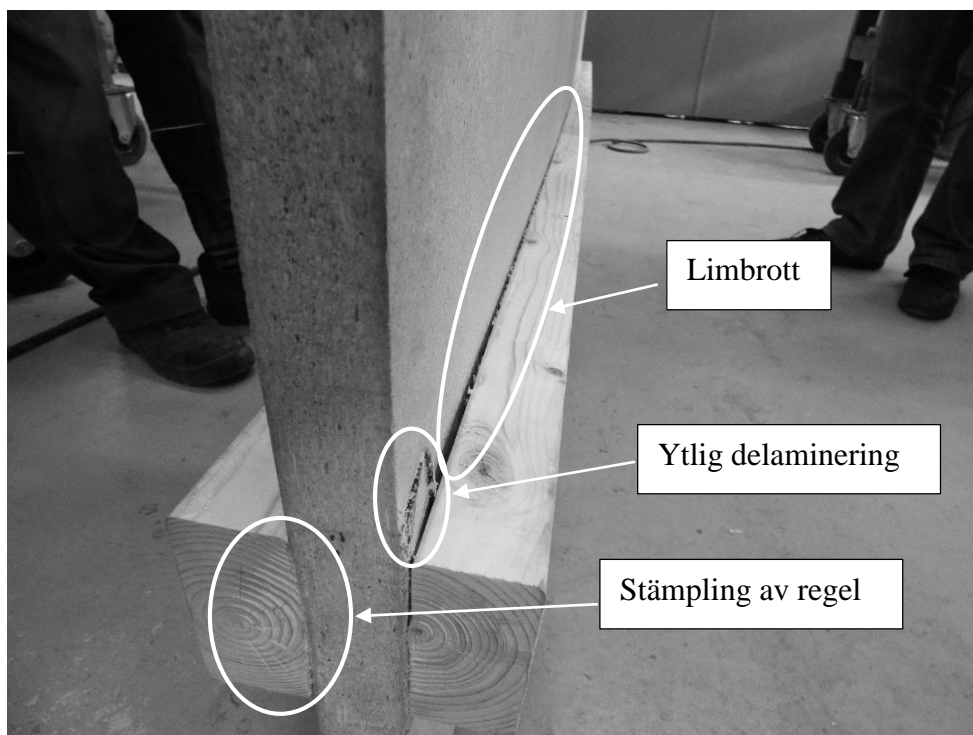
Den uppmätta medelbrottslasten från försöket för Serie A var i snitt 15 % högre än det beräknade värdet (342,2 respektive 297 kN). Den resulterande höga brottslasten kan förklaras av att materialvariationer hade liten inverkan. Elementet utsattes inte med risk för knäckning då slankhetstalet  $\lambda$  var lägre än 15. Det är värt att understryka att denna serie med enbart liminfästning klarade en så pass hög brottslast, utifrån detta resultat kan spikens medverkande styvhet i denna konstruktion anses vara minimal. Spikningens huvudsyfte är att garantera säkerheten om limmet skulle släppa.

Regeln höll under försöket en fuktkvot på ungefär 15,0 % och spånskivan 8,4 %. Det kan jämföras med en klimatklass 2 ( $12 < \text{fuktkvot} \leq 18$  %) då regeln är primärbärning av elementet. Element A3 med högsta brottslast (366kN) hade även högst fuktkvot, A4 med lägsta brottslast (326kN) hade lägst fuktkvot. Detta samband är raka motsatsen till hur materialens kapacitet varierar med ökat fuktinnehåll och kan bero på de allmänt låga uppmätta fuktkvoterna. Då alla regler har en fuktkvot under 15 % med låg spridning (1,28 %), kan fuktkvotens inverkan varit av mindre betydelse än limmets applicering och inverkan från materialvariationer så som kvistar. Studerad fuktkvot hos spånskivan var i testet cirka 4 % lägre än fuktkvoten hos reglarna, detta på grund av att spånskivor generellt produceras med lägre fuktkvot än konstruktionsvirke.

Alla provkroppar i Serie A hade stora vertikala deformationer och utbuktningar. Det kan tros bero på att uppställningen på I-balken inte var tillräckligt styv. Under försöken kunde en deformation på I-balken uppmärksammas och kan medverkat till en snedställdhet och skapat ett inre moment i elementen, detta kan också orsakat knäckbrott för element A2 och A5.

En elasticitetsmodul för det sammansatta materialen beräknades till 3,24 GPa som kan jämföras med regelns och spånskivans enskilda elasticitetsmodul 11 GPa resp. 1,8 GPa. Standardavvikelsen 0,25 GPa tyder på att variationen är liten och att materialens sammanlagda elasticitetsmodul inte beror lika mycket på enskilda materialvariationer som konstruktionsvirke gör. Elasticitetsmodulen varierar i snitt 7,7 % vilket är betydligt mindre än variationen för konstruktionsvirke ( $\pm 35$  %).

## 7.2 Serie B



Figur 7.3. Brott serie B, limbrott och ytlig delaminering i spånskiva

Lim-brott i samtliga fall, utan stukning/knäckning i regel eller spånskiva (spikarna skapade ingen samverkan mellan materialen efter limbrott). Vid limbrott ansågs elementet var förbrukat då regeln och spånskivan inte längre samverkade och ej klarade någon ytterligare lastökning utan enbart deformerades med stora utböjningar som följd. Flytled skapades direkt efter limbrott i spikarna, brottslasten för ett enbart spikat element beräknades till 21 % av ett fullt samverkande limmat förband. Att spikarna flyter direkt vid limbrott är ett tydligt tecken på att de ej klarar av samma brottslast som den limmade infästningen, huruvida de klara 21 % av limbrottslasten framgår ej ur försöket. Upplagstrycket från lastcellen skapade en stämpling i regeln och spånskivan vilket ledde till en ytlig delaminering i spånskivan (ses i Figur 7.3). Limbrottet sträcktes dock över hela längden och kan inte kopplas till upplagstrycket. Ingen stämpling observerades i något av försöket i överkant vid belastningsbalk, troligtvis på grund av att kraften för stämplingstryck ej översteg spånskivans hårdhet. I Figur 7.3 ses tydligt hur regel och spånskiva buktar åt höger, vilket kan tyda på en viss fördröjd elastisk krypning i spånskivan (element B3).

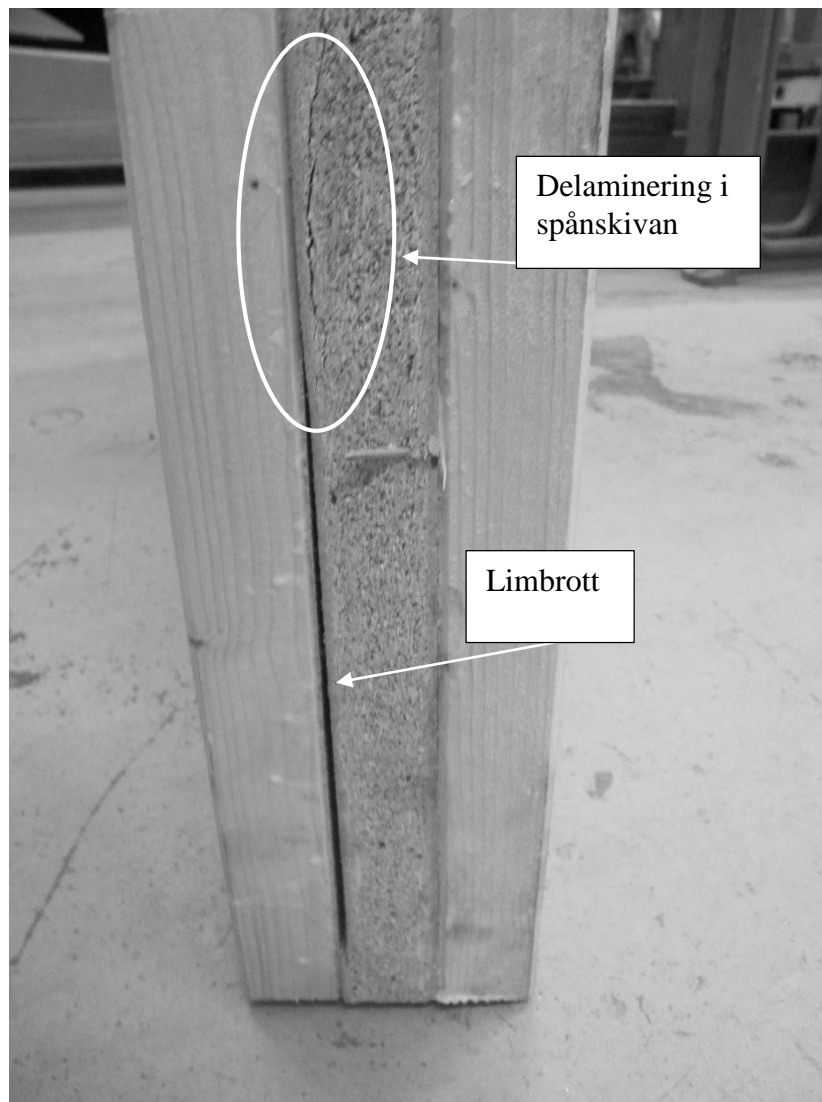
Den uppmätta medelbrottslasten i Serie B (168,2 kN) är 10,6 % lägre än den beräknade brottslasten vid full samverkan (188 kN), dock är den markant större än den beräknade brottslasten vid enbart spikning (40 kN). Det finns många orsaker till att testresultatet blev lägre än det beräknade men det mest framträdande är Serie Bs stora slankhet som bidrog till stora mittdeformationer (12,1 mm), samt att limningen inte var väl utförd, se Figur 7.4. B1 med lägsta lasten hade stora delar av limmet placerats utanför regeln, endast få avsnitt av alla regler var fastlimmade. Element B2 med högst brottslast hade seriens bästa limning vilket resulterade i klarade större utböjning och vertikal kompression innan limbrott jämfört med B1 och B3 med sämre limning.



Figur7.4. Limplacering utanför regeln, B1.

Brotten i serien var uteslutande limbrott och inte knäckning trots stor slankhet, detta kan tyda på att limmet är känsligt för stora utböjningar vid långa längder på regeln samt att spånskivan har en stabiliserande effekt på slanka konstruktioner. De stora horisontella deformationerna skapade av andra ordningens effekter kan bidra till en dragning vinkelrät mot regelns plan. Dragspänningarna i limmet överskrider då limmets kapacitet vilket leder till brott. Här har spikningen en fördel då de är bättre på att ta upp dragspänningar i sitt plan. En väl utförd limning med hög samverkan mellan materialen har därför en stor betydelse för att klara en högre last och större utböjning.

### 7.3 Serie C

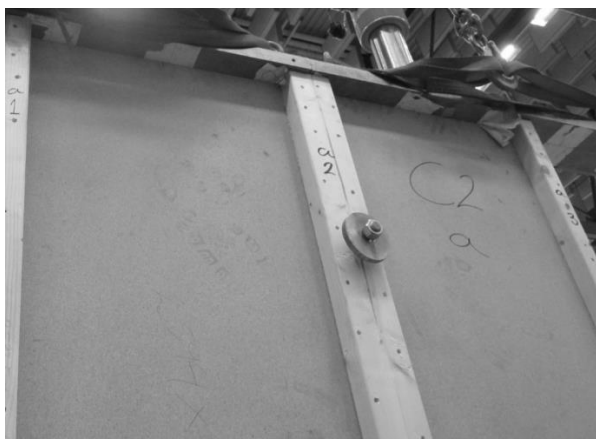


Figur 7.5. Brott serie C, limbrott vänster regel samt spricka/delaminering i spånskiva.

Limbrott vid samtliga försök med följande delaminering och krossning av spånskiva för C2 och C3, se Figur 7.5. Även delaminering av ytskikt hos spånskiva vid belastningsbalk observerades vid försök. Troligtvis uppkom denna delaminering på grund av de stora påförda krafterna. Uppmätta mittdeformationer för Serie C var betydligt mindre än de för Serie B (5,5 respektive 12,1 mm) vilket tyder på att slankheten hade mindre inverkan på Serie C samt att det större antalet regelpar skapade en större styvhet hos elementet.

Ytterreglarnas medelbrottslast varierade med 5 % och kan bero på skillnader i material och elementens kontakt med lastcellerna. På grund av variationer hos elementen hade exempelvis C1 inte full kontakt med alla lastceller vid initial belastning. Mittregelen belastades med 161 % av kraften på en ytterregel, teoretiskt skulle den belastas med 200 % av den kraft ytterregeln skulle uppta. Limbrott i mittregel och ytterregel skedde dock ungefär samtidigt, inget brott i ytterreglar före mittregel trots skillnad mellan försöksresultat och beräknat resultat. För att förenkla transport under försöket borrades ett 20 mm stort genomgående hål genom centrumreglarna, se Figur 7.6. Detta

påverkade ej försökets resultat negativt då C1 ej borrades men hade lägst brottslast. Ej heller påverkades hålets diameter då den var konstant före och efter lastpåföring.



Figur 7.6. Genomgående 20mm bult för transport med travers

C1 avviker med den lägsta uppmätta brottslasten jämfört med C2 och C3 vilket medför en större spridning. Anledning till att brottslasten var lägre för C1 kan bero på att elementet tidigare belastades med en annan sorts uppställning som fick avbrytas. C1 hade även en skevhet i botten vilket medförde att elementet inte belastades jämt på lastcellerna, C1 har ändå tagits med i sammanställningen. Det uppmärksammades även ett samband där spånskivan i C2 var mindre välvd än C3 och tog därmed större last.

Den uppmätta medelbrottslasten från försöket var för Serie C i snitt 7.8 % högre än det beräknade värdet (407,5 respektive 378 kN) vilket tyder på att funktionen hos elementet uppfyller det syfte den är konstruerad för, det vill säga upptagning av stora vertikala utbredda krafter i en bärande konstruktion. Att limbrott uteslutande var den dominerande brottmoden i kombination med den uppmätta lastfördelningen mellan regelparen tyder på att spånskivan leder last bättre än förväntat. Inga brott skedde heller i spånskivan eller regeln utan ett föregående limbrott. Spånskivans initiala välvdhet påverkade resultatet i viss utsträckning, utbuktningens riktningen var den samma som spånskivans välvdhet.

## 7.4 Väggelementet generellt

Då proverna generellt hade en fuktkvot sådan att de verkade i klimatklass 2 har resultaten av brottslast generellt varit goda. Vidare kan man diskutera hur pass lämplig en konstruktion med bärande delar av spånskiva generellt är, med risk för fuktskador skapade av exempelvis släckningsarbete, läckage eller inbyggd fukt. Som tidigare nämnts finns det även risk att spånskivans bärförmåga minskar vid en hög fuktkvot. Spånskivan som styvade reglarna delaminerades i densitets-skiktet vid brott, alternativt material hade varit ytbehandlad plywood eller OSB som styvar upp reglarna.

Väggelementen klarade generellt höga laster trots att reglarnas veka riktning är densamma som väggens, störst risk för knäckning är i vek riktning. Om reglarna istället vridits 90° och knäckt i styv riktning hade hållfastheten ökat med 33 % samt slankheten minskat med 30 %, enligt en överslagsberäkning. Nackdelen är att man förlorar 1m<sup>2</sup> boarea var 10e meter samt att kontaktytan halveras och regels individuella slankhet ökar i vägg-riktningen. En annan möjlig konstruktion är limmade regler på insidan av två spånskivor, vilket är en mer traditionell byggmetod.

Håltagning i bärande konstruktioner är en annan faktor som kan reducerad bärförmåga, håltagningen i mittreglarna för transport av C2 och C3 gav inga märkbara hållfasthetsreduktioner av elementen. Håltagning i väggelementen för installationer o.d. behöver utredas, hur det påverkar lastfördelning och samverkan för de bärande elementen. Vilken flexibilitet och möjligheter som finns att göra håltagning för exempelvis dörrar genom bärande väggar för eventuell ombyggnation.

Limtrycket skapas av ett spikpar cc 200, en teknik som är snabb och effektivt. Alternativa lösningar är att skruva elementet då skruvningen tvingar ihop materialen bättre än spik. Ett förslag är därför att spika första regeln cc 600 och sedan skruva andra regeln med genomgående skruv och fäster 2/3 i motsatt regel. Detta borde tvinga ihop reglarna bättre mot spånskivan och förbättra limtrycket.

## 7.5 Felkällor

Lim-brott var genomgående för alla brott i alla element, kvalitén av limningen varierade stort mellan elementen där vissa hade full kontaktyta och samverkan mellan regel och spånskiva. Andra saknade lim på stora ytor och skapade ingen eller liten samverkan med lim, samverkan via spikarna uppnår inte samma brottslast som lim. Denna spridning av limkvalité kan ha gett försöksresultatet missvisande värden. Nästan ingen limfog följde A-hus direktiv ”*Kontrollera att regeln ligger an mot spånskivan och att limmet trängt ut utefter regelkanterna efter skruvningen/spikningen*”. Det finns möjlighet att kapaciteten hade varit högre om limningen varit bättre.

På grund av I-balkens oönskade deformation i serie A används inte mätvärden från lägesgivaren som var i kontakt med I-balken och enbart använda data från givare i toppen. Detta leder till att ingen reduktion för kompression av lastcell och I-balk vilket kan leda till att värdet för elasticitetsmodulen har reducerats.

Beräkningsresultatet för Serie A och C är alltid lägre än testresultatet, det kan bero på att skalfaktorn 1,34 ej är tillräcklig för att uppnå ett  $f_{medel}$ . I Serie B uppnår inget element beräknad brottslast vilket kan bero på bristande limning och högt slankhetstal. 1,34 kan därför ifrågasättas om det är rätt faktor, fler försök hade behövts göra.

Beräkningarna som utvecklats och använts i detta arbete har endast verifierats i ett begränsat antal försök. För att jämföra beräkningar med försök och få ett pålitligt resultat hade fler försök per serie behövt genomföras.

## 8 Slutsats

- Resultaten från försöken var generellt goda för elementen, Serie A och C hade i snitt en överkapacitet på 15,2 respektive 7.8 % jämfört med beräkningar. Serie B uppvisade dock i snitt en underkapacitet på 10,5 %, sannolikt på grund av stor slankhet i kombination med materialvariationer.
- Limmet skapade full samverkan i elementet men var dock känsligt för hur noggrant det applicerades. Tydlig reducering av brottslast uppmärksammades vid misslyckad limning.
- Limmad och spikad infästning påvisade ingen bättre samverkan än en enbart limmad infästning.
- Den genomgående brottmoden för försöken var uteslutande limbrott.
- Följdbrott så som knäckning av spånskiva och stukning av regel skedde i Serie A. Mindre materialbrott så som stämpling av regel, delaminering av spånskiva och ytlig krossning av spånskiva skedde i Serie B och C.
- Spånskivan hade en god förmåga att fördela last till reglarna samt styva reglarna från knäckning.

Trots att få element provats vilket medför låg säkerhet är spridningen relativt liten och resultatet ger en fingervisning vad väggelementet har för kapacitet.

Beräkningarna saknar stöd för andra förutsättningar och bör inte användas för dimensionering innan dessa har kontrollerats, se Kapitel 8.1.

### 8.1 Vidare studier

Beräkningsmodellen enligt Eurocode 5 som är föreslagen i detta arbete kräver vidare studier för att verifiera hur pass lämplig den är att använda. Aspekter som inte tagits hänsyn till i detta arbete är:

- Fukt, fuktpåverkan på materialen och elementens motståndskraft mot för hög fuktkvot.
- Bruksgränstillstånd så som utböjning, lastvaraktighet, krypning i materialen o.d..
- Elementens infästning i en sammanhängande struktur.
- Horisontell lastpåverkan och kombinerad vertikal- och horisontell last.
- Håltagningar och infästningar av installationer, skalväggar, dörrar, fönster o.d..
- Andra material och deras samverkan.
- Samverkan och motstånd vid brand.

I denna studie har enbart spånskiva och konstruktionsvirke behandlats. I framtida studier bör andra frågeställningar undersökas som till exempel:

- Hur pass generell beräkningsmetoden är för olika material.
- Hur exempelvis plywood, OSB eller HDF fungerat som skiv-material istället för spånskiva med avseende på dimensioner och hållfastegenskaper.



## Referenser

- A-hus (2013-10-28). Limning LSV-väggar. Ej offentlig. Hämtad (2016-01-18)
- A-hus. Det här är A-hus. <http://www.a-hus.se/om-a-hus> (2016-04-15)
- A-hus. Så blir ett A-hus till. <http://www.a-hus.se/att-bygga-hus/sa-blir-ett-a-hus-till> (2016-04-05)
- Al-Emrani, M. Engström, B. J.M. J.P. 2013, *Bärande konstruktioner Del 1*, Chalmers Reproservice, Göteborg. Del: Träbyggnad.
- Arieff, A. & Burkhart, B. 2003, *Prefab*, Gibbs Smith, Southampton;Layton, Utah; s.9-17
- Blass, H.J., Aune, P., et al., 1995, *Timber engineering*, Almere, Centrum hout, Step 1.
- Byggfakta (2015-12). Husstatistik hela landet ackumulerat. Ej offentligt. Hämtad (2016-04-20)
- CEN (European committee for standardization). CEN/TC 193/SC 1 – Adhesives for wood and derived timber products.  
[https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:7:0:::FSP\\_ORG\\_ID:6434&cs=1509F00E0A0347EF817CA06533F93B8E1](https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:7:0:::FSP_ORG_ID:6434&cs=1509F00E0A0347EF817CA06533F93B8E1) (2016-03-30)
- Derome (2015-01-12). Tillverkningsritning. Ej offentlig. Hämtad (2015-12-21)
- Derome (2014-01-14). Tillverkningsritning. Ej offentlig. Hämtad (2015-12-21)
- Eurocode software, 2011, *Eurokod 5 Trä*,  
[http://www.eurocodesoftware.se/kurs/eurokod\\_revA/pdf/Eurokod\\_5\\_Tra.pdf](http://www.eurocodesoftware.se/kurs/eurokod_revA/pdf/Eurokod_5_Tra.pdf) (2016-05-24)
- Johansson, C-J., 1991, Sammanlimning av trä och limträelement med stora tvärsnitt, SP AR 1991:66, Borås, Byggnadsteknik. Citerat i Johansson, L., 2008, *Limmade förband i stora träkonstruktioner*, Luleå tekniska universitet: CIV (CIV rapport 2008:083).
- Johannesson, P., Vretblad, B. 2011, *Byggformler och tabeller*: upplaga 11. Stockholm: Liber AB
- Kurt, R., 2003, The strength of press-glued and screw-glued stressed skin components with gap-filling phenol resorcinol formaldehyde adhesive, Wood research- Drevársky Výskum, Vol. 47 (3), pp.1-10. Citerat i Johansson, L., 2008, *Limmade förband i stora träkonstruktioner*, Luleå tekniska universitet: CIV (CIV rapport 2008:083).
- Lundgren, S.Å. 1967, *Träskivor som byggnadsmaterial*. Norrköping: L-offset Tryckeri. (Del 1)

Myron, K. 1977, *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard.*

<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr10.pdf> (2016-03-05)

Ottosson, J., 2013, WSP, Hur höga trähus får man bygga i Sverige?,

<http://www.byggvarlden.se/hogsta-trahuset-vaxer-fram-i-bergen-82151/nyhet.html>  
(2016-04-12)

Porteous, J., Kermani, A. 2013, *Structural timber design to Eurocode 5*, 2.th edn, Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex.

SIS. 2009, *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner*. Stockholm: SIS Förlag AB. (EN 1995-1-1:2004 Sv)

SMHI. 2013, *Luftfuktighet*.

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910> (2016-04-20)

Steen, A., 2014, Byggvärlden, Högsta trähuset växer fram i Bergen,

<http://www.byggvarlden.se/hogsta-trahuset-vaxer-fram-i-bergen-82151/nyhet.html>  
(2016-04-12)

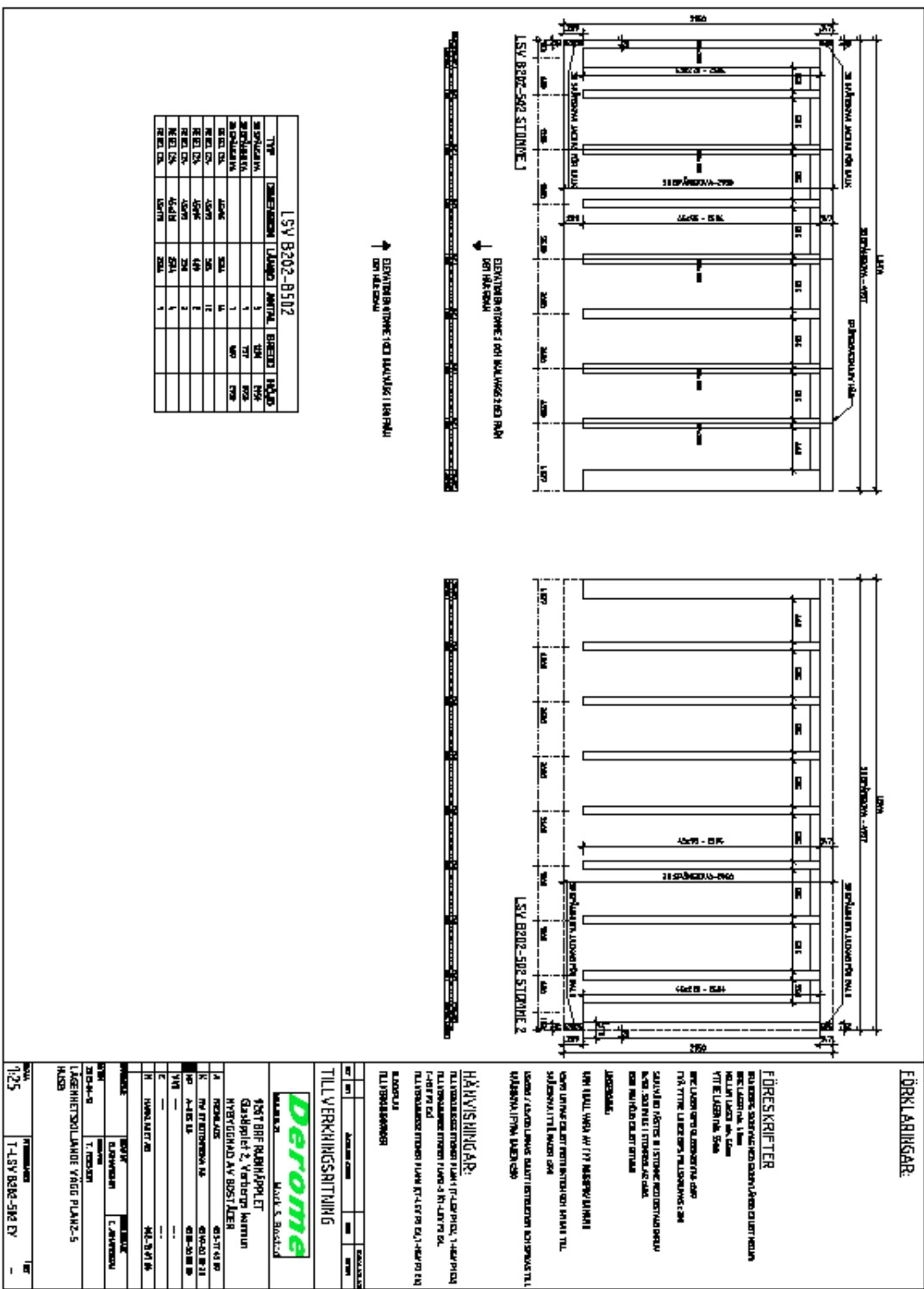
Svenskt Trä, *Krympning eller svällning i en stock av barrträd*. [Elektronisk bild].

<http://www.svenskttra.se/om-tra/att-valja-tra/tra-och-fukt/traets-fuktrorelser>  
(2016-04-19)

Svenskt Trä, *Egenskaper hos barrträd*.

<http://www.svenskttra.se/om-tra/att-valja-tra/tra-och-fukt/traets-fuktrorelser>  
(2016-05-12)





## Bilaga B, Deromes direktiv

- Damm och smuts på regler och spånskivor avlägsnas före limning.
- Elementet vänds tidigast 65 min efter limning. När skalvägg ej skall monteras vänds väggen inom 30 min efter limning. Vändning får ej ske under limmets härdningstid. 30-65min vid 20°C, 30-125min vid 15°C.
- Virket skall alltid vara fullhyvlat mot limfogen, eventuella missar vänds ut från skivan
- Vridna regler, som inte får fullgod anliggning, sorteras bort
- Lim och härdare appliceras var för sig på reglarna med Mixon limstation. För att erhålla rätt mängd lim matas regel maskinellt genom limspridarna.
- Regel skall monteras max 20 minuter efter limning.
- För att erhålla erforderligt tryck på limfogen spikas reglarna enligt ritningar. Pressa regeln mot spånskivan genom att stå på regeln när du spikar/skruvar den.
- Kontrollera att regeln ligger an mot spånskivan och att limmet trängt ut utefter regelkanterna efter skruvningen/spikningen.

# Bilaga C, Beräkningar

## Beräkning brottslast och kompression Serie A

### Materialegenskaper

#### Regel C24

$$\begin{aligned}f_{1_{c.o.k}} &:= 21 \cdot \text{MPa} \\ E_{1_{0.05}} &:= 7.4 \cdot \text{GPa} \\ E_{1_{0\text{mean}}} &:= 11 \cdot \text{GPa} \\ f_{1_{c.o.d}} &:= f_{1_{c.o.k}} \cdot 1.34 = (2.814 \cdot 10^7) \text{ Pa}\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{regel}} := 420 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Spånskiva P6

$$\begin{aligned}f_{2_{p.c.o.k}} &:= 8.5 \cdot \text{MPa} \\ E_{2_{p.0\text{mean}}} &:= 1800 \cdot \text{MPa} \\ E_{2_{p.0.05}} &:= 1.44 \cdot \text{GPa} \\ G_{2_{p\text{mean}}} &:= 900 \cdot \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{spanskiva}} := 500 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Spikinfästning 3,1x75 Trådspik

$$\begin{aligned}d &:= 3.1 \cdot \text{mm} && \text{Diameter spik} \\ S &:= 0.200 \cdot \text{m} && \text{Avstånd mellan förbindare}\end{aligned}$$

#### Samverkans effektivitetsfaktor lim

$$\gamma_z := 1.0$$

#### Rakhetsfaktor massivträ

$$\beta_c := 0.2 \quad \text{Enligt Kapitel 6.3.2 Eurocode 5}$$

### Indata geometri

#### Längd pelare:

$$L := 0.55 \cdot \text{m}$$

#### Effektiv längd pelare:

$$L_{\text{eff}} := L = 0.55 \text{ m}$$

#### Regel c24, 45x95

$$b_1 := 0.095 \cdot \text{m}$$

$$h_1 := 0.045 \cdot \text{m}$$

Spånskiva P6

$$b_2 := 0.300 \cdot m$$

$$h_2 := 0.038 \cdot m$$

### Limmad infästning

Beräkning sammansatt EI med liminfästning enligt Ekvation (4.2)

$$EI_{efz} := E2_{p,0,mean} \cdot \left( \frac{(b_2 \cdot h_2^3)}{12} \right) + 2 \cdot E1_{0mean} \cdot \left( \left( \frac{(b_1 \cdot h_1^3)}{12} \right) + \gamma_z \cdot (b_1 \cdot h_1) \cdot \left( \frac{(h_1 + h_2)}{2} \right)^2 \right) = (1.803 \cdot 10^5) \frac{kg \cdot m^3}{s^2}$$

$$EA_{c,tot} := E1_{0mean} \cdot 2 \cdot b_1 \cdot h_1 + E2_{p,0,mean} \cdot b_2 \cdot h_2 = (1.146 \cdot 10^5) \text{ kN} \quad (\text{ekv 4.7})$$

$$\lambda_{c,efz} := L_{eff} \cdot \sqrt{\frac{EA_{c,tot}}{EI_{efz}}} = 13.864 \quad (\text{ekv 4.6})$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Regel, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z1} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f1_{c.o.k}}{E1_{0,05}}} = 0.235$$

$$K_{z,1} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1} - 0.3) + \lambda_{rel,z1}^2) = 0.521$$

$$K_{c,z1} := \frac{1}{K_{z,1} + \sqrt{K_{z,1}^2 - \lambda_{rel,z1}^2}} = 1.014$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Spånskiva, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z2} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f2_{p.c.0.k}}{E2_{p,0,05}}} = 0.339$$

$$K_{z,2} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z2} - 0.3) + \lambda_{rel,z2}^2) = 0.561$$

$$K_{c,z2} := \frac{1}{K_{z,2} + \sqrt{K_{z,2}^2 - \lambda_{rel,z2}^2}} = 0.991$$

Beräknad brottslast med avseende på de medverkande materialens tryckhållfasthet vid limmad infästning:

$$Nd_{regel} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z1} \cdot f_{1c.o.d})}{E1_{0mean}} = 297.178 \text{ kN} \quad \text{Regel (dimensionerande) (ekv 4.10)}$$

$$Nd_{span} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z2} \cdot f_{2p.c.0,k}^2)}{E2_{p.0.mean}} = 536.298 \text{ kN} \quad \text{Spånskiva}$$

Uppskattning kompression:

$$\Delta l := \frac{Nd_{span} \cdot L_{eff}}{EA_{c,tot}} = 0.003 \text{ m} \quad \text{(ekv 4.11)}$$

### Spikad infästning

Samverkans effektivitetsfaktor Trådspik

$$\rho_m := \sqrt{\rho_{regel} \cdot \rho_{spanskiva}} = 458.258 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{ser} := \frac{(\rho_m^{1.5} \cdot d^{0.8})}{30} = 3.218 \frac{\text{kg}^{\frac{3}{2}}}{\text{m}^{\frac{10}{37}}} \quad \text{(Eurocode 5, Kapitel 7.1)}$$

$$K_u := \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 2.146 \frac{\text{kg}^{\frac{3}{2}}}{\text{m}^{\frac{10}{37}}} \quad \text{(Eurocode 5, Kapitel 2.2.2)}$$

$$K_{u1} := 538.941 \cdot \frac{N}{\text{mm}} \quad \text{(Samma som } K_u \text{ men rätt enhet)}$$

$$\gamma_z := \left[ 1 + \pi^2 \cdot E1_{0mean} \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot \left( \frac{S}{2 \cdot K_{u1}} \right) \cdot \frac{1}{L^2} \right]^{-1} = [0.004] \quad \text{(ekv 4.3)}$$

Beräkning samansatt EI värde med reducerad samverkan

$$EI_{efz} := E2_{p.0.mean} \cdot \left( \frac{(b_2 \cdot h_2^3)}{12} \right) + 2 \cdot E1_{0mean} \cdot \left( \left( \frac{(b_1 \cdot h_1^3)}{12} \right) + \gamma_z \cdot (b_1 \cdot h_1) \cdot \left( \frac{(h_1 + h_2)}{2} \right)^2 \right) = [1.891 \cdot 10^4] \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{s}^2}$$

$$\lambda_{c,efz} := L_{eff} \cdot \sqrt{\frac{EA_{c,tot}}{EI_{efz}}} = [42.814] \quad \text{(ekv 4.6)}$$



Instabilitetsfaktorer med avseende på Regel, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z1} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f1_{c.o.k}}{E1_{0.05}}} = [0.726]$$

$$K_{z,1} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1} - 0.3) + \lambda_{rel,z1}^2) = [0.806]$$

$$K_{c,z1} := \frac{1}{K_{z,1} + \sqrt{K_{z,1}^2 - \lambda_{rel,z1}^2}} = [0.865]$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på spånskiva, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z2} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f2_{p.c.0.k}}{E2_{p.0.05}}} = [1.047]$$

$$K_{z,2} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z2} - 0.3) + \lambda_{rel,z2}^2) = [1.123]$$

$$K_{c,z2} := \frac{1}{K_{z,2} + \sqrt{K_{z,2}^2 - \lambda_{rel,z2}^2}} = [0.654]$$

Beräknad brottslast med avseende på de medverkande materialens tryckhållfasthet vid spikad infästning:

$$Nd_{regel} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z1} \cdot f1_{c.o.d})}{E1_{0mean}} = [253.422] \text{ kN} \quad \text{Regel (dimensionerande)}$$

$$Nd_{span} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z2} \cdot f2_{p.c.0.k})}{E2_{p.0.mean}} = [353.973] \text{ kN} \quad \text{Spånskiva}$$

## Beräkning brottslast och kompression Serie B

### Materialegenskaper

#### Regel C24

$$f_{1c.o.k} := 21 \cdot \text{MPa}$$

$$E_{10.05} := 7.4 \cdot \text{GPa}$$

$$E_{10\text{mean}} := 11 \cdot \text{GPa}$$

$$f_{1c.o.d} := f_{1c.o.k} \cdot 1.34 = (2.814 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$\rho_{\text{regel}} := 420 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Spånskiva P6

$$f_{2p.c.o.k} := 8.5 \cdot \text{MPa}$$

$$E_{2p.0.\text{mean}} := 1800 \cdot \text{MPa}$$

$$E_{2p.0.05} := 1.44 \cdot \text{GPa}$$

$$G_{2p.\text{mean}} := 900 \cdot \text{MPa}$$

$$\rho_{\text{spanskiva}} := 500 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Spikinfästning 3,1x75 Trådspik

$$d := 3.1 \cdot \text{mm}$$

Diameter spik

$$S := 0.200 \cdot \text{m}$$

Avstånd mellan förbindare

#### Samverkans effektivitetsfaktor lim

$$\gamma_z := 1.0$$

#### Rakhetsfaktor massivträ

$$\beta_c := 0.2$$

Enligt Kapitel 6.3.2 Eurocode 5

### Indata geometri

#### Längd pelare:

$$L := 2.594 \cdot \text{m}$$

#### Effektiv längd pelare:

$$L_{\text{eff}} := L = 2.594 \text{ m}$$

#### Regel c24, 45x95

$$b_1 := 0.095 \cdot \text{m}$$

$$h_1 := 0.045 \cdot \text{m}$$

Spånskiva P6

$$b_2 := 0.600 \cdot m$$

$$h_2 := 0.038 \cdot m$$

### Limmad infästning

Beräkning sammansatt EI med liminfästning enligt Ekvation (4.2)

$$EI_{efz} := E2_{p,0,mean} \cdot \left( \frac{(b_2 \cdot h_2^3)}{12} \right) + 2 \cdot E1_{0,mean} \cdot \left( \left( \frac{(b_1 \cdot h_1^3)}{12} \right) + \gamma_z \cdot (b_1 \cdot h_1) \cdot \left( \frac{(h_1 + h_2)}{2} \right)^2 \right) = (1.828 \cdot 10^5) \frac{kg \cdot m^3}{s^2}$$

$$EA_{c,tot} := E1_{0,mean} \cdot 2 \cdot b_1 \cdot h_1 + E2_{p,0,mean} \cdot b_2 \cdot h_2 = (1.351 \cdot 10^5) \text{ kN} \quad (\text{ekv 4.7})$$

$$\lambda_{c,efz} := L_{eff} \cdot \sqrt{\frac{EA_{c,tot}}{EI_{efz}}} = 70.519 \quad (\text{ekv 4.6})$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Regel, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z1} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f1_{c,ok}}{E1_{0,05}}} = 1.196$$

$$K_{z,1} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1} - 0.3) + \lambda_{rel,z1}^2) = 1.305$$

$$K_{c,z1} := \frac{1}{K_{z,1} + \sqrt{K_{z,1}^2 - \lambda_{rel,z1}^2}} = 0.548$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Spånskiva, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z2} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f2_{p,c,ok}}{E2_{p,0,05}}} = 1.725$$

$$K_{z,2} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z2} - 0.3) + \lambda_{rel,z2}^2) = 2.13$$

$$K_{c,z2} := \frac{1}{K_{z,2} + \sqrt{K_{z,2}^2 - \lambda_{rel,z2}^2}} = 0.296$$

Beräknad brottslast med avseende på de medverkande materialens tryckhållfasthet vid limmad infästning:

$$Nd_{regel} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z1} \cdot f_{1,c.o,d})}{E1_{0mean}} = 189.262 \text{ kN} \quad \text{Regel} \quad (\text{ekv 4.10})$$

$$Nd_{span} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z2} \cdot f_{2,p.c.0,k})}{E2_{p.0,mean}} = 188.796 \text{ kN} \quad \text{Spånskiva (dimensionerande)}$$

Uppskattning kompression:

$$\Delta l := \frac{Nd_{span} \cdot L_{eff}}{EA_{c,tot}} = 0.004 \text{ m} \quad (\text{ekv 4.11})$$

### Spikad infästning

Samverkans effektivitetsfaktor Trådspik

$$\rho_m := \sqrt{\rho_{regel} \cdot \rho_{spanskiva}} = 458.258 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{ser} := \frac{(\rho_m^{1.5} \cdot d^{0.8})}{30} = 3.218 \frac{\text{kg}^{\frac{3}{2}}}{\text{m}^{\frac{10}{37}}} \quad (\text{Eurocode 5, Kapitel 7.1})$$

$$K_u := \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 2.146 \frac{\text{kg}^{\frac{3}{2}}}{\text{m}^{\frac{10}{37}}} \quad (\text{Eurocode 5, Kapitel 2.2.2})$$

$$K_{u1} := 538.941 \cdot \frac{N}{\text{mm}} \quad (\text{Samma som } K_u \text{ men rätt enhet})$$

$$\gamma_z := \left[ 1 + \pi^2 \cdot E1_{0mean} \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot \left( \frac{S}{2 \cdot K_{u1}} \right) \cdot \frac{1}{L^2} \right]^{-1} = [0.072] \quad (\text{ekv 4.3})$$

Beräkning samansatt EI värde med reducerad samverkan

$$EI_{efz} := E2_{p.0,mean} \cdot \left( \frac{(b_2 \cdot h_2^3)}{12} \right) + 2 \cdot E1_{0mean} \cdot \left( \left( \frac{(b_1 \cdot h_1^3)}{12} \right) + \gamma_z \cdot (b_1 \cdot h_1) \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right)^2 \right) = [3.255 \cdot 10^4] \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{s}^2}$$

$$\lambda_{c,efz} := L_{eff} \cdot \sqrt{\frac{EA_{c,tot}}{EI_{efz}}} = [167.115] \quad (\text{ekv 4.6})$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Regel, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z1} := \frac{\lambda_{c,ef,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{1c.o.k}}{E1_{0.05}}} = [2.834]$$

$$K_{z,1} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1} - 0.3) + \lambda_{rel,z1}^2) = [4.768]$$

$$K_{c,z1} := \frac{1}{K_{z,1} + \sqrt{K_{z,1}^2 - \lambda_{rel,z1}^2}} = [0.116]$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på spånskiva, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z2} := \frac{\lambda_{c,ef,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{2p.c.0.k}^2}{E2_{p.0.05}}} = [4.087]$$

$$K_{z,2} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z2} - 0.3) + \lambda_{rel,z2}^2) = [9.23]$$

$$K_{c,z2} := \frac{1}{K_{z,2} + \sqrt{K_{z,2}^2 - \lambda_{rel,z2}^2}} = [0.057]$$

Beräknad brottlast med avseende på de medverkande materialens tryckhållfasthet vid spikad infästning:

$$Nd_{regel} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z1} \cdot f_{1c.o.d})}{E1_{0,mean}} = [40.168] \text{ kN} \quad \text{Regel}$$

$$Nd_{span} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z2} \cdot f_{2p.c.0.k})}{E2_{p.0,mean}} = [36.44] \text{ kN} \quad \text{Spånskiva (dimensionerande)}$$

## Beräkning brottslast och kompression Serie C

### Materialegenskaper

#### Regel C24

$$\begin{aligned}f_{1,c.o.k} &:= 21 \cdot \text{MPa} \\ E_{1,0.05} &:= 7.4 \cdot \text{GPa} \\ E_{1,0\text{mean}} &:= 11 \cdot \text{GPa} \\ f_{1,c.o.d} &:= f_{1,c.o.k} \cdot 1.34 = (2.814 \cdot 10^7) \text{ Pa}\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{regel}} := 420 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Spånskiva P6

$$\begin{aligned}f_{2,p.c.o.k} &:= 8.5 \cdot \text{MPa} \\ E_{2,p.0\text{mean}} &:= 1800 \cdot \text{MPa} \\ E_{2,p.0.05} &:= 1.44 \cdot \text{GPa} \\ G_{2,p\text{mean}} &:= 900 \cdot \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{spanskiva}} := 500 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Spikinfästning 3,1x75 Trådspik

$$\begin{aligned}d &:= 3.1 \cdot \text{mm} && \text{Diameter spik} \\ S &:= 0.200 \cdot \text{m} && \text{Avstånd mellan förbindare}\end{aligned}$$

#### Samverkans effektivitetsfaktor lim

$$\gamma_z := 1.0$$

#### Rakhetsfaktor massivträ

$$\beta_c := 0.2 \quad \text{Enligt Kapitel 6.3.2 Eurocode 5}$$

### Indata geometri

#### Längd pelare:

$$L := 2.594 \cdot \text{m}$$

#### Effektiv längd pelare:

$$L_{\text{eff}} := L = 2.594 \text{ m}$$

#### Regel c24, 45x95

$$b_1 := 0.095 \cdot \text{m}$$

$$h_1 := 0.045 \cdot \text{m}$$

Spånskiva P6

$$b_2 := 1.200 \cdot m$$

$$h_2 := 0.038 \cdot m$$

### Limmad infästning

Beräkning sammansatt EI med liminfästning enligt Ekvation (4.2)

$$EI_{efz} := E2_{p,0,mean} \cdot \left( \frac{(b_2 \cdot h_2^3)}{12} \right) + 4 \cdot E1_{0,mean} \cdot \left( \left( \frac{(b_1 \cdot h_1^3)}{12} \right) + \gamma_z \cdot (b_1 \cdot h_1) \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right)^2 \right) = (3.656 \cdot 10^5) \frac{kg \cdot m^3}{s^2}$$

$$EA_{c,tot} := E1_{0,mean} \cdot 4 \cdot b_1 \cdot h_1 + E2_{p,0,mean} \cdot b_2 \cdot h_2 = (2.702 \cdot 10^5) \text{ kN} \quad (\text{ekv 4.7})$$

$$\lambda_{c,efz} := L_{eff} \cdot \sqrt{\frac{EA_{c,tot}}{EI_{efz}}} = 70.519 \quad (\text{ekv 4.6})$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Regel, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z1} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f1_{c.o.k}}{E1_{0,05}}} = 1.196$$

$$K_{z,1} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1} - 0.3) + \lambda_{rel,z1}^2) = 1.305$$

$$K_{c,z1} := \frac{1}{K_{z,1} + \sqrt{K_{z,1}^2 - \lambda_{rel,z1}^2}} = 0.548$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på Spånskiva, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z2} := \frac{\lambda_{c,efz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f2_{p,c,0.k}}{E2_{p,0,05}}} = 1.725$$

$$K_{z,2} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z2} - 0.3) + \lambda_{rel,z2}^2) = 2.13$$

$$K_{c,z2} := \frac{1}{K_{z,2} + \sqrt{K_{z,2}^2 - \lambda_{rel,z2}^2}} = 0.296$$

Beräknad brottslast med avseende på de medverkande materialens tryckhållfasthet vid limmad infästning:

$$Nd_{regel} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z1} \cdot f_{1,c.o.d})}{E1_{0mean}} = 378.523 \text{ kN} \quad \text{Regel} \quad (\text{ekv 4.10})$$

$$Nd_{span} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z2} \cdot f_{2,p.c.o.k})}{E2_{p.0.mean}} = 377.591 \text{ kN} \quad \text{Spånskiva (dimensionerande)}$$

Uppskattning kompression:

$$\Delta l := \frac{Nd_{span} \cdot J_{eff}}{EA_{c,tot}} = 0.004 \text{ m} \quad (\text{ekv 4.11})$$

### Spikad infästning

Samverkans effektivitetsfaktor Trådspik

$$\rho_m := \sqrt{\rho_{regel} \cdot \rho_{spanskiva}} = 458.258 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{ser} := \frac{(\rho_m^{1.5} \cdot d^{0.8})}{30} = 3.218 \frac{\text{kg}^{\frac{3}{2}}}{\text{m}^{10}} \quad (\text{Eurocode 5, Kapitel 7.1})$$

$$K_u := \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 2.146 \frac{\text{kg}^{\frac{3}{2}}}{\text{m}^{10}} \quad (\text{Eurocode 5, Kapitel 2.2.2})$$

$$K_{u1} := 538.941 \cdot \frac{N}{\text{mm}} \quad (\text{Samma som } K_u \text{ men rätt enhet})$$

$$\gamma_z := \left[ 1 + \pi^2 \cdot E1_{0mean} \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot \left( \frac{S}{2 \cdot K_{u1}} \right) \cdot \frac{1}{L^2} \right]^{-1} = [0.072] \quad (\text{ekv 4.3})$$

Beräkning samansatt EI värde med reducerad samverkan

$$EI_{efz} := E2_{p.0.mean} \cdot \left( \frac{(b_2 \cdot h_2^3)}{12} \right) + 4 \cdot E1_{0mean} \cdot \left( \frac{(b_1 \cdot h_1^3)}{12} \right) + \gamma_z \cdot (b_1 \cdot h_1) \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right)^2 = [6.51 \cdot 10^4] \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{s}^2}$$

$$\lambda_{c,ef,z} := L_{eff} \cdot \sqrt{\frac{EA_{c,tot}}{EI_{efz}}} = [167.115] \quad (\text{ekv 4.6})$$



Instabilitetsfaktorer med avseende på Regel, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z1} := \frac{\lambda_{c,ef,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{1c.o.k}}{E1_{0.05}}} = [2.834]$$

$$K_{z,1} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1} - 0.3) + \lambda_{rel,z1}^2) = [4.768]$$

$$K_{c,z1} := \frac{1}{K_{z,1} + \sqrt{K_{z,1}^2 - \lambda_{rel,z1}^2}} = [0.116]$$

Instabilitetsfaktorer med avseende på spånskiva, Ekvationer enligt Eurocode 5 Kapitel 6.3.2

$$\lambda_{rel,z2} := \frac{\lambda_{c,ef,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{2p.c.0.k}^2}{E2_{p.0.05}}} = [4.087]$$

$$K_{z,2} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z2} - 0.3) + \lambda_{rel,z2}^2) = [9.23]$$

$$K_{c,z2} := \frac{1}{K_{z,2} + \sqrt{K_{z,2}^2 - \lambda_{rel,z2}^2}} = [0.057]$$

Beräknad brottslast med avseende på de medverkande materialens tryckhållfasthet vid spikad infästning:

$$Nd_{regel} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z1} \cdot f_{1c.o.d})}{E1_{0mean}} = [80.336] \text{ kN} \quad \text{Regel}$$

$$Nd_{span} := \frac{(EA_{c,tot} \cdot K_{c,z2} \cdot f_{2p.c.0.k})}{E2_{p.0.mean}} = [72.881] \text{ kN} \quad \text{Spånskiva (dimensionerande)}$$

## Bilaga D, Fuktkvot av Serie A

Tabell 4 Fuktkvot, regel

Provkropp	Material	Vikt före torkning [g]	Vikt efter torkning [g]	Fuktkvot [%]
A1	Regel C24	38,2	34,2	14,2
A2	Regel C24	47,2	42,2	13,9
A3	Regel C24	55,1	48,2	16,4
A4	Regel C24	36,7	33,0	13,7
A5	Regel C24	57,7	50,3	16,6
	Medelvärde:	46,96	41,58	14,96

Tabell 5 Fuktkvot, spånskiva

Provkropp	Material	Vikt före torkning [g]	Vikt efter torkning [g]	Fuktkvot [%]
A1	Spån P6	37,8	34,8	9,0
A2	Spån P6	41,1	38,1	8,3
A3	Spån P6	41,0	38,1	8,2
A4	Spån P6	41,6	38,6	8,4
A5	Spån P6	45,6	42,6	8,2
	Medelvärde:	41,43	38,44	8,44

# Bilaga E, Kraft-deformationsgrafer av alla försök

Bilaga E beskriver hållfasthet i form av kraft och deformation för alla element, Serie A, B och C.

